پژوهش‌های آبخیزداری

فهرست

شماره ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲

پژوهش های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن جامعه‌های روستایی در طرح های آبخیزداری در آبخیز آسمان‌آباد استان ایلام

محمدرضا جعفری[1*]، امین صالح‌پور جم[2]

۱ - استادیار بخش تحقیقات منابع طبیعی و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

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

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

مشارکت روستاییان در فعالیت‌های آبخیزداری، مدت زمانی است که به‌وسیله‌ی برنامه‌ریزان کشور به آن توجه شده است. بررسی‌ها نشان داده است که اندازه‌ی مشارکت مردم به اندازه‌ی انتظار نبوده است. این پژوهش در راستای شناخت ویژگی‌های اجتماعی- اقتصادی جامعه های محلی، شناسایی شاخص‌های مؤثر بر کاهش موانع و افزایش مشارکت مردمی در اجرای طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری، شناخت انتظارها و نیازهای جامعه‌ی محلی و در نهایت ارائه‌ی راهکارهای علمی و فنی با هدف افزایش اندازه‌ی مشارکت مردمی در منطقه‌ی آسمان-آباد شهرستان چرداول انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، شاخص‌های تأثیرگذار بر مشارکت نداشتن روستاییان در فعالیت‌های آبخیزداری بر اساس چهار شاخص اقتصادی، اجتماعی، طراحی- اجرایی و آموزشی- ترویجی و با ۱۲ زیر شاخص تعیین و دسته‌بندی شدند. اطلاعات لازم در این پژوهش به‌شکل پیمایشی و با استفاده از ابزار پرسش‌نامه، مصاحبه و نشست‌های پرشمار با افراد جامعه و خبرگان محلی جمع‌آوری شد. برای تعیین حجم نمونه از رابطه‌ی کوکران، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و بررسی روایی پرسش‌نامه از آلفای کرونباخ استفاده شد.

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: جعفری، م.ر.، صالح‌پور جم، ا. ۱۴۰۲. شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری در آبخیز آسمان‌آباد استان ایلام. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۱۶-۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360304.1493

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۸/۲۱، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های۲ تا ۱۶.

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

نتایج و بحث
نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که در آبخیز آسمان‌آباد، شاخص‌های اقتصادی، طراحی و اجرایی در مشارکت نداشتن مردم نسبت به شاخص‌های آموزشی – ترویجی و اجتماعی نقش بیشتری داشتند. از دیدگاه کارشناسان، زیرشاخص نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه‌ی اقتصادی مستقیم و توجه نداشتن به سازمان‌های غیر دولتی به‌ترتیب با میانگین رتبه‌ی ۹/۳۵ و ۳/۶۹ در مشارکت نداشتن مردم بیشترین و کمترین اهمیت را داشتند. از نظر جامعه‌های محلی نیز زیرشاخص‌های نادیده گرفتن درآمد مردم به‌عنوان انگیزه‌ی اقتصادی مستقیم و اعتماد نداشتن به نتایج و اثر بخشی طرح‌ها به‌ترتیب با میانگین رتبه‌ی ۸/۱۶ و ۵/۲۳ در مشارکت نداشتن مردم بیشترین و کمترین اهمیت را داشتند. نتیجه‌ی کلی نظرسنجی از جامعه‌های محلی بیان‌گر آن بود که عامل‌های اجرای طرح‌های چندمنظوره و در نظرداشتن منافع آبخیزنشینان می‌تواند در طرح‌های آبخیزداری زمینه‌ساز اعتماد و جلب مشارکت فعال مردم باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها
در آبخیز آسمان‌آباد اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری نشان داد که شاخص‌های اقتصادی و طراحی– اجرایی در مقایسه با شاخص‌های آموزشی – ترویجی و اجتماعی نقش بیشتری داشتند. همچنین نتایج وزن‌های به‌دست آمده از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم نشان داد که دو زیرشاخص نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه‌ی اقتصادی مستقیم و توجه نکردن به نظرها و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مرحله‌های مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای طرح‌های آبخیزداری، از دیدگاه هر دو گروه در چهار اولویت نخست بودند و در مشارکت نداشتن جامعه‌های روستایی نسبتاً اهمیت بیشتری داشتند. بنابراین با توجه به یافته‌های پژوهش به‌منظور ایجاد و یا بهبود مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری در محدوده‌ی مطالعه شده، پیشنهاد می شود که قبل از اجرای طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری، در رابطه با مشکلات موجود، شرایط منطقه و حتی لزوم اجرای طرح‌های مزبور نقطه نظرهای جامعه‌ی محلی جمع‌آوری شود. جلب نظر ساکنین آبخیز با هدف همکاری در اجرا، حفاظت، احیاء و نگهداری از طرح‌ها، استفاده‌ی متعادل و برابر ذینفعان از منابع‌طبیعی، بهره‌گیری مناسب از توانمندی‌ها و ظرفیت‌های اقتصادی، اجتماعی و فنی ساکنین و جامعه‌ی محلی در ایجاد و تقویت مشارکت جامعه محلی بسیار مؤثر است.

واژگان کلیدی: آزمون فریدمن، آزمون‌های غیرسنجه‌ای، آلفای کرونباخ، تصمیم‌گیری چندمعیاره، رابطه‌ی کوکران

مقـدمه

بدون شک روستاییان می‌توانند در بهبود شرایط اجتماعی، محیطی و اقتصادی خود نقش موثری داشته باشند. افزون بر این در آبخیزها و همکاری در فعالیت‌های آبخیزداری نیز نقش مهم و حساسی دارند. اما نکته مهم این است که اساساً روستاییان باید برای مشارکت در اجرای فعالیت‌های آبخیزداری و حفاظت منابع‌طبیعی و آبخیزها که در آن ساکن هستند، در نظرگرفته شوند و روش کار باید به‌گونه‌ای باشد که با اهدافی که یک جمعیت متشکل، آگاه و مسئول به‌دنبال آن هستند، هماهنگ باشد (جعفری و همکاران ۲۰۱۱).

در اواخر قرن بیستم، رشد سریع جمعیت در بسیاری از مناطق منجر به محدودیت دسترسی به زمین، آب و دیگر منابع‌طبیعی شد و با پیشرفت فن‌آوری در بخش‌های مختلف، زمینه‌ی بهره‌برداری بیش از حد و غیراصولی از اندوخته‌های منابع‌طبیعی که بستر طبیعی حیات و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی می‌باشند، فراهم شد (سعدالدین و همکاران ۲۰۱۵). نیم قرن توسعه‌ی ناپایدار، بروندادی جز برهم خوردن نظام طبیعی و تاریخی آبخیزهای کشور نداشت (مصفایی و همکاران ۲۰۱۸). توسعه‌ی پایدار، مبحثی کلیدی در مدیریت پایدار سرزمین است، به‌طوری‌که توسعه‌ی اقتصادی بدون درنظرگرفتن ملاحظه‌های اجتماعی، و محیطزیست، معیشت پایدار در آبخیزهای کشور را با خطر مواجه کرده است. خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها، افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی، شور شدن زمین‌ها و تشدید فرآیندهای بیابان‌زایی، ایجاد کانون‌های ریزگرد، تغییر کاربری زمین‌ها، فرسایش شدید و رخداد سیلاب‌های پرشمار از جمله مسائلی هستند که بیان‌گر اعمال نکردن مدیریت صحیح در منابع‌طبیعی کشور است که در نهایت سبب ایجاد وضعیت بحرانی در آن‌ها شده است (مصفایی و همکاران ۲۰۱۷).

تصمیم‌گیری در مدیریت آبخیز به‌طور ذاتی پیچیده است، زیرا با در نظر گرفتن فرآیندهای زیست فیزیکی و اقتصادی– اجتماعی نیازمند هماهنگی و مساعدت ذینفعان است (میلر و همکاران ۲۰۰۴). حفظ وضعیت کنونی آبخیزها و جلوگیری از نابودی بیشتر، فقط با مشارکت فعالانه و همه‌جانبه مردم امکان‌پذیر است (صالح‌پور جم و همکاران ۲۰۱۸). توجه نداشتن به مشارکت ذینفعان در مراحل مختلف مطالعاتی و اجرایی بسیاری از طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری سبب

انزوای حافظان اصلی منابع‌طبیعی و بهره‌برداری نکردن از توانایی‌های فکری، اجرایی و دانش بومی آن‌ها شده است (صالحی ۲۰۰۷). همچنین این مسأله در حفاظت از طرح‌ها پس از اجرای آنها، سبب کاهش انگیزه‌ی آتی جامعه‌های روستایی شده است. تجربه‌ی کشورهای پرشماری بیان‌گر آن است که فعالیت دولت‌ها به‌تنهایی کارآمدی لازم را ندارد و تدوین یک برنامه ی راهبردی فراگیر و نظام‌مند ضروری است (کلیتون ۲۰۰۵). مشارکت جامعه سبب کاهش هزینه‌ها در جمع‌آوری اطلاعات، تعیین راهکارها، توافق، تدوین قوانین، هماهنگی اعضای جامعه، نظارت و اعمال بهتر قوانین می‌شود (سینگلتن و تایلور ۱۹۹۲). جانسون و همکاران (۲۰۰۲) لازمه‌ی فرآیند بررسی مدیریت آبخیز را مشارکت مردمی می‌دانند. باقریان و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که رابطه‌ی میان عامل‌های رضایت از برنامه‌های قبلی، اندازه‌ی آگاهی از برنامه‌ها، درآمد، نگرش مثبت به برنامه‌ها و مشارکت بهره‌برداران از طرح‌های آبخیزداری، معنی‌دار بود. دورام و براون (۲۰۱۰) مشارکت عمومی در انجام طرح‌های آبخیزداری در ۶۴ آبخیز آمریکا را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که افزایش آگاهی از شرایط آبخیز، افزایش همکاری‌های بین‌سازمانی، اجماع در طرح‌های مدیریتی منابع و هدفمندی طرح‌های نهایی نقش مهمی در این زمینه داشتند.

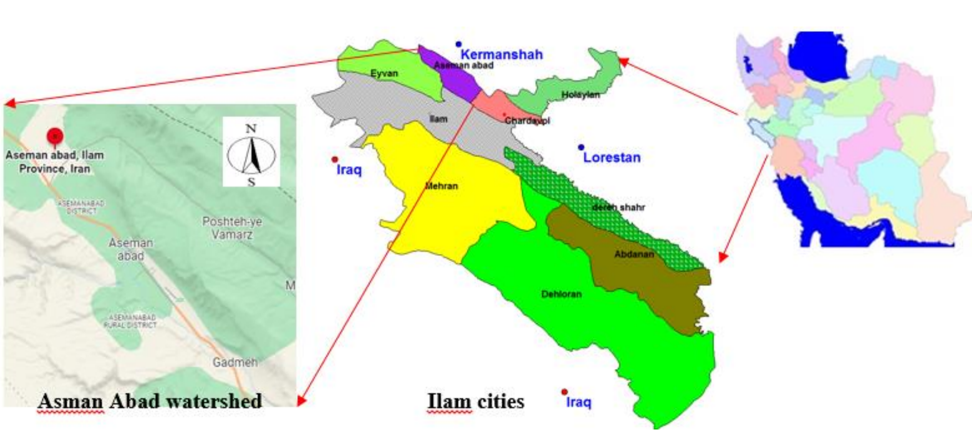
زارعی و همکاران (۲۰۱۴)، با بررسی عامل‌های مؤثر مشارکت نداشتن بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری آبخیز برنجستانک نتیجه گرفتند که میان سن بهره‌برداران و شناخت از طرح‌ها با تمایل افراد برای شرکت در طرح‌ها به‌ترتیب رابطه‌ی منفی و مثبت‌وجود داشت، ولی میان سطح سواد و مالکیت بهره‌برداران با تمایل به مشارکت آن‌ها در طرح‌های آبخیزداری رابطه‌ای وجود نداشت و به‌طورکلی می‌توان گفت عامل‌های مؤثر بر اندازه‌ی مشارکت روستاییان در طرح‌های آبخیزداری شامل عامل‌های ادراکی، فردی، ارتباطی- اطلاعاتی و اقتصادی است. مقدم و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که فعالیت‌های آموزشی و ترویجی، استفاده از رسانه‌ها، سطح زمین‌های تحت کشت و حضور مروجین در طرح‌های منابع طبیعی، بر مشارکت کشاورزان در طرح‌های آبخیزداری تأثیر مثبت داشتند. الوندی و همکاران (۲۰۱۴)، امکان استفاده از سامانه‌های پشتیبان تصمیم در مدیریت مشارکتی آبخیز چهل‌چای استان گلستان را از دیدگاه گروه‌های مختلف ذینفع بررسی کردند و نتیجه گرفتند که میان پاسخ‌های جامعه مدیران، کارشناسان و برنامه‌ریزان با جامعه نمایندگان آبخیزنشینان و بهره‌بردارن تفاوت معنی‌داری نبود و با آموزش سامانه به گروه‌های مختلف ذینفع می‌توان فرآیند تصمیم گیری در مدیریت آبخیزها را تسهیل کرد. در هند باگدی و کوروت (۲۰۱۴)، در بررسی اندازه‌ی مشارکت کشاورزان در طرح‌های حفاظت آب و خاک (برنامه‌ی گسترش آبخیز ویدارب هند) نتیجه گرفتند که درصد مشارکت در مراحل طراحی، اجرا و نگهداری به‌ترتیب ۶۳/۷ ٪، ۵۷/۷ ٪ و ۷۵/۱ ٪ بود که بیان‌گر مشارکت متوسط در مراحل طراحی و اجرا و مشارکت زیاد در مرحله‌ی نگهداری بود. باقریان و همکاران (۲۰۱۷)، ابعاد مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری آبخیز حبله‌رود را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اندازه‌ی مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری متوسط بود. آنها گزارش کردند که اندازه‌ی مشارکت مردم در سه بعد اجتماعی ۳۷ ٪، بعد میدانی ۱۶ ٪ و بعد اقتصادی ۸ ٪ بود.

بررسی نتایج پژوهش‌ها بیان‌گر آن است شناسایی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی در آبخیزها برای کسب تدابیر در راستای رفع موانع موجود ضروری است. این مسأله با کاهش هزینه‌های اجرایی، ضامن موفقیت و اجرای مؤثرتر طرح‌ها است. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیر شاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری آبخیز آسمان‌آباد استان ایلام از دیدگاه کارشناسان و آبخیزنشینان است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده

مساحت منطقه‌ی آسمان‌آباد ۱۰۴۲۸ هکتار و مختصات جغرافیایی آن ´۴۶ °۳۳ تا ´۵۵ °۳۳ درجه عرض شمالی و ´۱۸ °۴۶ تا ´۳۰ °۴۶ درجه طول‌شرقی می‌باشد که در شمال‌غرب شهرستان چرداول استان ایلام است. حداقل و حداکثر اندازه‌ی بلندی در این آبخیز به‌ترتیب ۱۲۰۰ و ۱۹۰۰ متر از سطح دریا است (جعفری و همکاران ۲۰۱۳). این آبخیز بر اساس آمار سرشماری سال ۱۳۹۵، ۱۶۵۹ خانوار و ۵۸۹۱ نفر جمعیت دارد. مهمترین منابع تولید و درآمد ساکنین کشاورزی، باغداری و دامداری است. این منطقه تا سال ۲۰۰۴ تحت عنوان بخش آسمان‌آباد بود و اکنون به شهر ارتقاء یافته است. موقعیت آبخیز آسمان‌آباد در نقشه‌ی استان ایلام و کشور در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل۱- موقعیت آبخیز آسمان‌آباد در استان ایلام و ایران.

Figure 1- The location of Asman Abad watershed in Ilam province and Iran.

روش پژوهش

شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر مشارکت نداشتن مردمی

عامل‌های پرشماری می‌توانند بر نبود مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری دخالت داشته باشند که در این پژوهش این عامل‌ها بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، پرسش از کارشناسان و نیز مراجعه به منطقه و مصاحبه حضوری با ساکنان و بهره‌برداران منطقه، شناسایی شد و سپس در قالب شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها طبقه‌بندی شد.

اولویت‌بندی عامل‌ها از دیدگاه کارشناسان

به این منظور ابتدا برای تعیین وزن شاخص‌ها، پرسش‌نامه‌های مقایسه‌های زوجی و برای تعیین وزن زیرشاخص‌ها، پرسش نامه‌های طیف لیکرت به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری تهیه شد. روایی پرسش‌نامه‌ها مبتنی بر نظر خبرگان تأیید شد. سپس از کارشناسان ادارات مطالعات و خدمات فنی آبخیزداری، امور فنی اجرایی آبخیزداری و اداره‌ی ارزیابی و اطلاعات جغرافیایی و نیز ادارات جنگل‌داری و جنگل‌کاری، مرتع و بیابان‌زدایی، اداره‌ی حفاظت و حمایت، استعدادیابی زمین‌ها و همچنین اداره‌ی آموزش و ترویج اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان نظرسنجی شد. همچنین از کارشناسان (با سابقه‌ی بیش از ۱۰ سال) در ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان که آبخیز در آن قرار دارد، نظرسنجی شد. سپس پرسش‌نامه‌ها تکمیل شد. با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و آزمون فریدمن، به‌ترتیب شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار مردمی اولویت‌بندی شد.

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده در این پژوهش برای تعیین وزن شاخص‌ها، به شرح زیر است:

الف) تعریف اعداد فازی به‌منظور انجام مقایسه‌های زوجی. درایه‌های ماتریس مقایسه‌های زوجی بر پایه‌ی روش ساتی (۱۹۸۰) و با درنظر گرفتن اعداد فازی مثلثی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی (ساتی ۱۹۸۰).

Table 1- Linguistic variables and triangular fuzzy numbers (Sati 1980).

linguistic variable	fuzzy number	triangular fuzzy scale	fuzzy inverse scale
same preference	1	(1.1.1)	(1.00,1.00,1.00)
the interval of the same preference and slightly preferred	2	(1.2.3)	(0.33, 0.50, 1.00)
slightly preferred	3	(2.3.4)	(0.25, 0.33, 0.50)
slightly preferred interval and strong preference	4	(3.4.5)	(0.20, 0.25, 0.33)
strong preference	5	(4.5.6)	(0.17, 0.20, 0.25)
the boundary between strong preference and very strong preference	6	(5.6.7)	(0.14, 0.17, 0.20)
very strong preference	7	(6.7.8)	(0.13, 0.14, 0.17)
the preference interval is very strong and completely preferred	8	(7.8.9)	(0.11, 0.13, 0.14)
absolutely preferred	9	(8.9.10)	(0.10, 0.11, 0.13)

ب) ایجاد ماتریس مقایسه‌های زوجی مبتنی بر اعداد فازی.
با استفاده از مقیاس اندازه‌گیری ارائه شده به‌وسیله‌ی ساتی (۱۹۸۰) و اعداد فازی مثلثی، مقایسه‌ی میان سنجه‌ها انجام شد. متغیرهای زبانی و مقیاس فازی مربوطه با توجه به اهمیت نسبی سنجه‌ها انتخاب شدند. برای بررسی امکان رتبه‌بندی فازی ترکیبی گزینه‌ها، با استفاده از رابطه‌ی ۱ نسبت سازگاری قضاوت‌ها و نیز ماتریس ترکیبی تصمیم محاسبه شد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (۱)$$

RI: نمایه‌ی ناسازگاری تصادفی، CI: نمایه‌ی سازگاری است. نمایه‌های ناسازگاری تصادفی در جدول ۲ نشان داده شده است. نمایه‌ی سازگاری با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه شد.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \qquad (۲)$$

n: تعداد گزینه‌ها در ماتریس تصمیم (رتبه‌ی ماتریس)، λmax، میانگین بردار پایندگی است.

جدول ۲- نمایه‌های ناسازگاری تصادفی (ساتی ، ۱۹۸۰).

Table 2- Random inconsistency profiles (Saaty 1980).

n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24
2	0.00	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.46
5	1.12	10	1.49

در مرحله‌ی بعد اندازه‌ی آماره‌ی Si مرتبط با سطرهای ماتریس مقایسه‌ی زوجی با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه شد.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \qquad (۳)$$

i: شماره‌ی سطر، j: شماره‌ی ستون، M_g^j: اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی است.

اندازه‌های $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_g^j$ ، $\sum_{j=1}^{m} M_g^j$ و $\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_g^j\right]^{-1}$ نیز به‌ترتیب از رابطه‌های ۴ تا ۶ محاسبه شد.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j \right) \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i \right) \qquad (۵)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i} \right) \qquad (۶)$$

li، mi و ui به‌ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

محاسبه‌ی درجه‌ی بزرگی Si ها در مقایسه با یکدیگر

چنانچه M۱=(l۱,m۱,u۱) و M۲=(l۲,m۲,u۲) به‌عنوان اعداد فازی مثلثی درنظر گرفته شوند، درجه‌ی بزرگی M_1 در مقایسه با M_2 با استفاده از رابطه‌ی ۷ تعیین شد.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } M_2 \geq M_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \end{cases} \qquad (۷)$$

وزن سنجه‌ها و گزینه‌ها با استفاده از رابطه‌ی ۸ محاسبه شد.

$$d'(A_i) = Min V(S_i \geq S_k) \qquad (۸)$$
$$k = 1,2,\ldots, n \quad , \quad k \neq i$$

بردار وزن بهنجارنشده با استفاده از رابطه‌ی ۹ تعیین شد.

$$w' = \left(d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n) \right)^T \qquad (۹)$$
$$i = 1,2,\ldots, n$$

برای محاسبه‌ی بردار وزن نهایی، بردار وزن به‌دست آمده از مرحله قبل، با استفاده از رابطه‌ی ۱۰ بهنجار شد.

$$w = \left(d(A_1), d(A_2), \ldots, d(A_n) \right)^T \qquad (۱۰)$$

برای اولویت‌بندی زیرشاخص‌ها، ابتدا پرسش‌نامه با طیف لیکرت تهیه شد و سپس از کارشناسان خبره نظرسنجی شد. برای پرسش‌نامه با طیف لیکرت، گزینه‌ها مبتنی بر روش کدگذاری چندپاسخی، از نوع متغیرهای ترتیبی کیفی و منطبق با طیف لیکرت (خیلی‌کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی‌زیاد (۵) تهیه شد. برای جمع‌آوری نظرات کارشناسی، از کارشناسان ادارات مطالعات و خدمات فنی، حفاظت خاک و آبخیزداری، مهار سیلاب و آبخوان-داری، ادارات جنگل‌داری و جنگل‌کاری، مرتع و بیابان‌زدایی، حفاظت

و حمایت، استعدادیابی زمین‌ها و اداره آموزش و ترویج اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان ایلام نظرسنجی شد. همچنین از کارشناسان (با سابقه بیش از ۱۰ سال) در ادارات منابع‌طبیعی و آبخیزداری شهرستان آسمان‌آباد نیز نظرسنجی شد. برای رتبه‌بندی زیرشاخص‌ها از آزمون‌های غیرسنجه‌ای به شرح زیر استفاده شد:

برای بررسی پایایی یا قابلیت اعتماد ابزار اندازه‌گیری، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، اندازه‌ی آلفای کرونباخ با استفاده از رابطه‌ی ۱۱ محاسبه شد.

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1-\frac{\sum_{i=1}^{k} S_i^2}{S_t^2}\right) \qquad (۱۱)$$

k: تعداد گویه‌ها یا سؤال‌های یک شاخص، S_i^2: واریانس نمره‌های مربوط به گویه‌ی شماره‌ی j ام و S_t^2: واریانس جمع نمره‌های هر پاسخگو (واریانس کل شاخص) است.

در این روش هر چه همبستگی مثبت بین سؤال‌ها بیشتر شود، اندازه‌ی آلفای کرونباخ بیشتر خواهد شد و بالعکس هر چه واریانس میانگین سؤال‌ها بیشتر شود آلفای کرونباخ کاهش خواهد یافت. افزایش تعداد سؤال‌ها (بسته به نوع همبستگی بین سؤال‌ها) بر اندازه‌ی آلفای کرونباخ تأثیر مثبت یا منفی خواهد داشت. همچنین افزایش حجم نمونه باعث کاهش واریانس میانگین سؤال‌ها و در نتیجه باعث افزایش آلفای کرونباخ خواهد شد.

مقایسه‌ی میانگین زیرشاخص‌های مختلف و رتبه‌بندی آنها با روش تجزیه‌ی واریانس دوطرفه و آزمون فریدمن با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. به‌طورکلی تحلیل واریانس دوطرفه رتبه‌ای فریدمن، این فرضیه را می‌آزماید که k گروه همتا از توزیع پیوسته واحدی و یا از چند توزیع با میانه‌ی یکسان و یا در صورت تقارن توزیع‌ها با میانگین یکسان گرفته شده‌اند. اولویت‌بندی انواع زیرشاخص‌ها و تعیین اهمیت آنها با استفاده از رابطه‌ی ۱۲ محاسبه شد.

$$\chi^2 = \frac{12}{Nk(k+1)}\sum_{j=1}^{k} R_j^2 - 3N(k+1) \qquad (۱۲)$$

K: تعداد ستون‌ها یا سؤال‌ها، N: تعداد سطرها و R_j: حاصل جمع رتبه‌ها در ستون j ام است.

در این حالت، درجه‌ی آزادی به‌شکل ۱-k است.

اولویت‌بندی عامل‌های از دیدگاه ساکنان آبخیز

به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری از پرسش‌نامه با طیف لیکرت به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری استفاده شد. در این پژوهش، خانوار روستایی به‌عنوان واحد نمونه در نظر گرفته شد. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران (رابطه ۱۳) محاسبه شد.

$$n = \frac{Nt^2 s^2}{Nd^2 + t^2 s^2} \qquad (۱۳)$$

n: حجم نمونه (خانوارهای انتخاب شده) از جامعه‌ی آماری، N : جامعه‌ی آماری (خانوارهای ساکن در آبخیز)، t: آماره ی t استیودنت برای سطح اطمینان ۵٪ (t=۱/۹۶)، S^2: واریانس برآوردی جامعه‌ی مزبور (S²=۰/۲۵)، d: درجه‌ی دقت احتمالی مطلوب (d=۰/۰۱) است.

نتایج و بحث

در این پژوهش شاخص‌های تأثیرگذار در اندازه‌ی مشارکت مردم در اجرای طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری، در چهار گروه شاخص‌های اقتصادی، طرحی- اجرایی، آموزشی- ترویجی و اجتماعی، طبقه‌بندی شد. به این منظور با نمونه‌گیری تصادفی ساده و با انتساب متناسب، تعداد ۳۱۲ پرسش‌نامه تدوین، تجزیه و تحلیل شد.

شناسایی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت

با مصاحبه از کارشناسان و جامعه‌های محلی مشخص شد که عامل‌های پرشماری می‌توانند سبب مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری شوند که پس از گردآوری آن‌ها این عامل‌ها در قالب شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها طبقه بندی شدند. نتایج بررسی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری.

Table 3- Indicators and sub-indices affecting non-participation of people in watershed projects.

indicator	subindex	index
economic	ignoring people's income as a direct economic incentive	X1
	the late return of watershed projects	X2
	low income of the residents of the basin	X3
social	low level of literacy and awareness	X4
	ethnic and local differences	X5
	lack of trust in the results and effectiveness of plans	X6
design-executive	concentration of decision-making power in the center	X7
	lack of attention to the local workforce in the implementation of projects (employment creation)	X8
	lack of attention to non-governmental organizations (Semans) in watershed planning	X9
	failure to pay attention to the opinions and suggestions of the watershed residents in different stages of needs assessment and project implementation	X10
educational - promotion	lack of training of the residents of the basin regarding the relevant plans and goals	X11
	not using native promoter groups	X12

اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر از دیدگاه کارشناسان

پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های تحلیل سلسله‌مراتبی به‌وسیله‌ی ۱۳ کارشناس خبره، برای اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردمی در طرح‌های آبخیزداری از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد.

اندازه‌ی نمایه‌های نسبت سازگاری و وزن‌های بهنجارشده محاسبه‌شده‌ی شاخص‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. اندازه‌ی نسبت سازگاری محاسبه‌شده (۰/۰۶۸) کمتر از ۰/۱ بود ($CR \leq$ ۰/۱)، که قابل‌قبول است. همچنین اولویت بندی شاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری نشان داد که شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی به‌ترتیب بیشترین و کمیترین اولویت را داشتند. بر این اساس در نبود شکل‌گیری مشارکت جامعه‌های محلی در طرح‌های آبخیزداری آبخیز آسمان‌آباد، شاخص‌های اقتصادی، طراحی–اجرایی، آموزشی–ترویجی و اجتماعی به ترتیب بیشترین نقش را داشتند. صالح‌پور جم و همکاران (۲۰۱۸) نیز عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن ذینفعان در طرح‌های آبخیزداری را در آبخیزهای مشرف به شهر تهران بررسی و اولویت‌بندی کردند. نتایج پژوهش آنها نیز نشان داد که شاخص‌های اقتصادی و برنامه‌ریزی، در گروه شاخص‌های با اولویت زیاد شناسایی شدند. در استان فارس سلیمان‌پور و همکاران (۲۰۱۹) عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری در آبخیز مرادآباد میمند را اولویت‌بندی کردند. آنها گزارش کردند که از دیدگاه کارشناسان، عامل اقتصادی، در مشارکت نداشتن جامعه‌های محلی در فعالیت‌های آبخیزداری مهمترین عامل است.

مقایسه‌ها و بررسی‌ها نشان می‌دهد که در برخی منابع شاخص آموزشی – ترویجی و اجتماعی کمترین اندازه‌ی اهمیت را دارد (منصوری و همکاران ۲۰۱۶؛ فیض‌نیا و همکاران ۲۰۰۶ و صالح‌پور جم و همکاران ۲۰۱۸).

جدول ۴- نسبت سازگاری و وزن بهنجارشده‌ی محاسبه‌شده‌ی شاخص‌ها.

Table 4- compatibility ratio and the calculated normalized weight of the indicators.

indicator	CI	RI	CR	L	M	U	normal weight
economic	0.061	0.900	0.068	0.09	0.40	1.29	0.336
social				0.08	0.33	1.12	0.315
design-executive				0.08	0.16	0.88	0.258
educational -promotion				0.04	0.1	0.20	0.090

نتایج تحلیل پرسش‌نامه‌های لیکرت تکمیل‌شده به‌وسیله‌ی ۱۳ کارشناس خبره و اجرای آزمون فریدمن برای اولویت بندی زیرشاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری آبخیز، در جدول ۵ نشان داده شده است. در این پژوهش، اندازه‌ی آلفای کرونباخ به‌دست آمده از اولویت‌بندی زیرشاخص‌ها به‌وسیله‌ی پرسش‌نامه‌ی خبرگان، ۰/۸۱۶ محاسبه شد که بزرگ‌تر از ۰/۸ بود. بنابراین در این پژوهش ابزار اندازه‌گیری (پرسش‌نامه با طیف لیکرت) پایایی زیادی داشت، یعنی گویه‌های در نظر گرفته شده پایایی و سازگاری درونی زیادی داشتند. بر این اساس دامنه‌ی اندازه‌ی

میانگین رتبه‌ها ۳/۶۹ تا ۹/۳۵ متغیر بود. همچنین در آزمون فریدمن اندازه‌ی سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ (Sig=۰)، بیان‌گر آن است که اهمیت نسبی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند. بر این اساس، از دیدگاه خبرگان، زیرشاخص نادیده گرفتن درآمد مردم به‌عنوان انگیزه‌ی اقتصادی مستقیم با میانگین رتبه‌ی ۹/۳۵ و زیرشاخص توجه نکردن به سازمان‌های غیر دولتی (مردم نهاد) در برنامه‌ریزی‌های آبخیزداری با میانگین رتبه‌ی ۳/۶۹ به‌ترتیب بیشترین و کمترین اولویت نسبی را در مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری آبخیز مطالعه شده داشتند.

جدول ۵- رتبه‌بندی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در فعالیت‌های آبخیزداری از دیدگاه خبرگان.

Table 5- Ranking of factors affecting people's non-participation in watershed management activities from the perspective of experts.

subindex	average rank	priority	subindex	average rank	priority
X1	9.35	1	X7	8.62	2
X2	6.58	8	X8	6.82	7
X3	6.57	9	X9	3.69	12
X4	5.23	10	X10	7.77	4
X5	4.77	11	X11	8.50	3
X6	6.96	6	X12	7.65	5

اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم از دیدگاه جامعه‌های محلی

به‌منظور اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در فعالیت‌های آبخیزداری آبخیز آسمان‌آباد از دیدگاه جامعه‌های محلی، پس از آگاهی از تعداد خانوارهای موجود در آبادی‌های منطقه، تعداد ۳۱۲ نمونه بر اساس فرمول کوکران به‌عنوان حجم نمونه محاسبه و در نظر گرفته شد.

پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های مردمی به‌وسیله‌ی جامعه‌های محلی آبخیز، اندازه‌ی آلفای کرونباخ برای شاخص و زیرشاخص به ترتیب ۰/۷۶۴ و ۰/۷۱۴ محاسبه شد که با توجه به اندازه‌ی بزرگ‌تر از ۰/۷ این ضریب، ابزار اندازه‌گیری (پرسش‌نامه) پایایی زیادی داشت، یعنی زیرشاخص‌های فرض شده پایایی و سازگاری درونی زیادی داشتند.

نتایج تحلیل پرسش‌نامه‌های لیکرت تکمیل‌شده به‌وسیله‌ی جامعه‌های محلی و اجرای آزمون فریدمن برای اولویت‌بندی شاخص های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری آبخیز آسمان‌آباد، در جدول ۶ نشان داده شده است. بر این اساس دامنه‌ی اندازه‌ی میانگین رتبه‌ها ۵/۲۳ تا ۸/۱۶ متغیر بود (جدول ۷). همچنین در آزمون فریدمن، سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ (Sig = ۰)، بیان‌گر آن است که اهمیت نسبی عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند.

جدول ۶- رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم از دیدگاه جامعه‌های محلی.

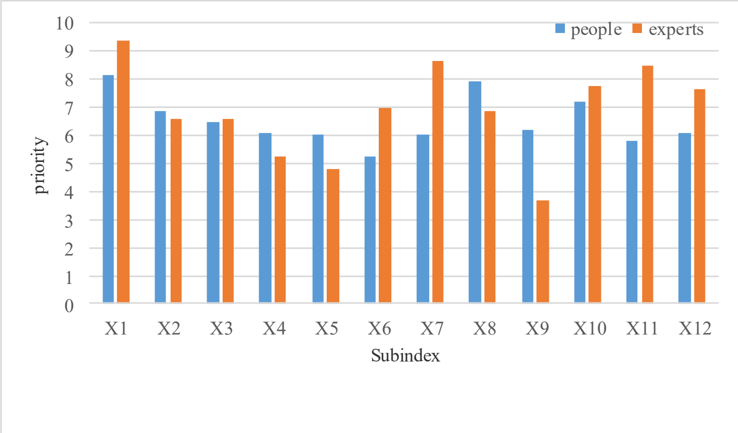
Table 6- Ranking of indicators affecting non-participation of people from perspective of local communities.

priority	index	average rank	number of samples	K square	degrees of freedom	the significance leve
1	economic	3.62	312	214.321	3	0.000
2	design- executive	3.28				
3	social	2.57				
4	educational romotional	1.44				

جدول ۷- رتبه‌بندی زیرشاخص‌ها (بر اساس نظر آبخیزنشینان) با آزمون فریدمن.

Table 7- Ranking of sub-indices (based on the opinions of watershed residents). with Friedman's test.

subindex	average rank	priority	subindex	average rank	priority
X1	8.16	1	X7	6.02	10
X2	6.87	4	X8	7.94	2
X3	6.48	5	X9	6.20	6
X4	6.07	7	X10	7.17	3
X5	6.03	9	X11	5.78	11
X6	5.23	12	X12	6.05	8



شکل ۲- اولویت‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم از دیدگاه دو گروه خبره و جامعه‌های محلی.

Figure 2- Prioritization of sub-indicators affecting non-participation of people from the perspectiv of two expert groups and local communities

با توجه به نتایج و بررسی‌های میدانی انجام شده در محدوده‌ی مطالعه‌شده، ارائه تسهیلات مالی و اعتباری یکی از راهکارهای مناسب در راستای مشارکت دادن جامعه‌ی محلی در طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری است. چنان‌که صالح‌پور جم و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی موانع مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری در جنوب آراد، شهرستان ری را عامل اقتصادی از دیدگاه کارشناسان و جامعه‌های محلی گزارش کردند. به عبارت دیگر کم بودن توانمندی اقتصادی اکثریت جامعه‌ی محلی و به‌ویژه زنان روستایی، ارائه تسهیلات مالی و اعتباری از سوی دولت، اجازه کشت و فراوری گیاهان دارویی در جامعه‌ی روستایی را امکان‌پذیر خواهد کرد. این نتایج با یافته‌ی سایر پژوهش‌گران مطابقت دارد (مصفایی و همکاران ۲۰۲۰ و بصیری و همکاران ۲۰۲۰).

بر اساس سابقه‌ی بررسی محدوده‌ی مطالعه‌شده و ناحیه‌های مشابه، شواهد بیان‌گر آن است که اکثر جامعه‌های محلی در محل زندگی خود از اجرا تا بهره‌برداری طرح‌های آبخیزداری و منابع‌طبیعی اطلاعی ندارند و در این راستا نیز هیچ مشورت و همفکری انجام نشده است. بر این اساس، نبود اطلاع و آگاهی، می‌تواند یکی از موانع مشارکت نداشتن و محقق نشدن اهداف پیش‌بینی‌شده در اجرای طرح‌های آبخیزداری و منابع‌طبیعی محسوب شود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش ملکی و همکاران (۲۰۱۸)، صالح‌پور جم و همکاران (۲۰۱۷) و آقدیو و سینگ (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

شوربختانه به سبب وجود مسائل و مشکلات دیرینه میان جامعه‌ی محلی و اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری، زمینه‌ی مناسبی برای ایجاد و یا افزایش کمی و کیفی طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری وجود نداشته است. در بعضی از موردها به سبب نبود درک درست جامعه‌ی محلی از اهداف اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری برای توسعه‌ی کمی و کیفی منابع‌طبیعی، زمینه‌ی تبدیل تعاملات اجتماعی و مشارکت مردمی به تقابل تبدیل شده است. پس ضروری است با شناخت و اعتمادسازی دو طرف زمینه‌ی مناسبی برای مشارکت بیش از پیش جامعه‌ی محلی در اجرای طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری به‌وسیله‌ی اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری ایجاد شود. این نتایج با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت دارد (صالح‌پور جم و همکاران ۲۰۲۰ و محمدی گل‌رنگ و همکاران ۲۰۱۷).

نتیجه‌گیری

مدیریت مشارکتی باعث افزایش توانمندی‌ها و بهره‌وری بهینه از سایر امکانات و منابع موجود درآبخیز می‌شود. از مهم‌ترین اقدام هایی که می‌توان در راستای رفع موانع مشارکت جامعه‌های محلی در طرح‌های آبخیزداری انجام داد، شناسایی، دسته‌بندی و رتبه‌بندی عامل‌هایی است که باعث مشارکت نداشتن آنها در این طرح‌ها می‌شود. اولویت‌بندی عامل‌های موثر بر مشارکت نداشتن مردمی، گامی اصولی در چرخه‌ی مدیریت مردم نهاد آبخیز و مدیریت شایسته‌ی آبخیزها است.

به‌طورکلی در آبخیز آسمان‌آباد، اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم در طرح‌های آبخیزداری نشان داد که شاخص‌های اقتصادی و طراحی – اجرایی نقش بیشتری را در مشارکت نداشتن مردم در مقایسه با شاخص‌های آموزشی – ترویجی و اجتماعی داشته‌اند. همچنین نتایج وزن‌های به‌دست آمده از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن مردم نشان داد که دو زیرشاخص نادیده گرفتن درآمد مردم به‌عنوان انگیزه‌ی اقتصادی مستقیم و توجه نکردن به نظرها و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای طرح‌های آبخیزداری، از دیدگاه هر دو گروه در چهار اولویت نخست بودند و در مشارکت نداشتن جامعه‌های روستایی اهمیت نسبی بیشتری داشتند. نتیجه‌ی کلی نظرسنجی از جامعه‌های محلی بیان‌گر آن است که اجرای طرح‌های چندمنظوره آبخیزداری و در نظر

گرفتن منافع آبخیزنشینان و نیز مشارکت دادن جامعه‌های محلی در مراحل مختلف پایش، مطالعات، نیازسنجی، اجرا، و نیز نگهداری طرح‌های آبخیزداری می‌تواند سبب انگیزه‌ی اقتصادی، توجه به نیروی محلی در اجرای طرح‌ها، اشتغال‌زایی و جلب مشارکت فعال مردم در مراحل مزبور شود. توجه و تأکید بر موضوع اعتماد جامعه‌ی محلی و افزایش اندازه‌ی اعتماد اجتماعی به اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری نیز، از جمله عامل‌هایی است که می‌تواند در کاهش و یا از بین بردن موانع مشارکت نداشتن جامعه‌ی محلی در اجرا و بهره‌برداری از طرح‌های آبخیزداری و منابع‌طبیعی نقش بارزی داشته باشد.

پیشنهادها

با توجه به یافته‌های پژوهش برای ایجاد و یا بهبود مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری در محدوده‌ی مطالعه‌شده پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱) قبل از اجرای طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری، لازم است نقطه نظرهای جامعه‌ی محلی در راستای مشکلات موجود، شرایط منطقه و حتی لزوم اجرای طرح‌های مزبور جمع‌آوری شود. جلب نظر ساکنین آبخیز با هدف همکاری در اجرا، حفاظت، احیاء و نگهداری از طرح‌ها، استفاده متعادل و برابر ذینفعان از منابع‌طبیعی، بهره‌گیری مناسب از توانمندی‌ها و ظرفیت‌های اقتصادی، اجتماعی و فنی ساکنین و جامعه‌ی محلی در ایجاد و تقویت مشارکت جامعه‌ی محلی بسیار مؤثر است.

۲) انجام هرگونه فعالیت و یا برنامه‌ریزی‌های اجرایی، مشارکتی و تلفیقی باید متناسب با ظرفیت‌های بـومی حاکم در محدوده‌ی مطالعه‌شده باشد. در همین راستا توجه به سرمایه‌های اجتماعی منطقه همچون بهره‌گیری مناسب از توان زنان، کودکان، نهاد خانواده، مدرسه، مسجد، در ایجاد و یا افزایش اندازه‌ی مشارکت جامعه‌ی محلی، در اجرا و نگهداری از طرح‌های منابع‌طبیعی و آبخیزداری می‌تواند کمک کند.

۳) با توجه به نبودن توانمندی مناسب اقتصادی اکثریت جامعه‌ی محلی استان ایلام و خصوصاً جامعه‌های محلی در آبخیز آسمان‌آباد با ارائه‌ی تسهیلات مالی به بهره‌برداران می‌توان امکان کشت و زمینه‌ی کسب و کارهای متناسب با اهداف اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری فراهم کرد. بر همین اساس توانمندسازی اقتصادی جامعه‌ی محلی می‌تواند موجب اشتغال‌زایی و افزایش درآمد ساکنین روستاهای منطقه و در نهایت افزایش مشارکت آن‌ها در موفقیت طرح‌های منابع طبیعی شود.

سپاس‌گزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری با کد ۰-۳۹-۲۹-۰۳۰-۹۷۰۶۱۴ انجام شده است و به این‌وسیله نویسندگان از تمام دست‌اندرکاران و به‌ویژه از کارگروه مشارکت مردمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری و نیز همکاران مرکز تحقیقات و اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان ایلام، آبخیزنشینان و بهره‌برداران آبخیز آسمان‌آباد صمیمانه سپاس‌گزاری می‌کنند.

فهرست منابع

Alvandi A, Sheikh V. 2014. The feasibility study on the use of decision support systems for participatory watershed management from the perspective of different groups of stakeholders (Case study: The Chel-chai Watershed, Golestan Province-Iran). Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi). 27 (4): 54-66.

Agidew A, Singh KN. 2018. Participation in watershed management programs in the Northeastern highlands of Ethiopia: A case study in the Teleyayen sub-watershed. Agidew and Singh Ecological Processes. 7(15): 7-15. Available:https://doi.org/10.1186/s13717-018-0128-6/ Accessed 10, July 2022.

Bagdi GL, Kurothe RS. 2014. People's participation in watershed management programmes: Evaluation study of Vidarbha region of Maharashtra in India. International Soil and Water Conservation Research. 2(3): 57-66.

Bagherian RA, Bahaman S, Asnarulkhadi AS, Shamsuddin A. 2009. A Soci Exchange approach to people's participation in watershed management programs in Iran. European Journal of Scientific Research. 3)34(: 428-441.

Basiry Z, Rostami N, Salehpour jam A. 2020. Identification and prioritization of effective indicators on preventing sustainable participation of rural societies in combating desertification plans (Case study: Mousian Region, Dehloran). Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards. 7 (3): 47-60. (In Persian).

Bagherian R, Goodarzi M, Sanaei Torqabah M, Bagherian A, Kalat. 2017. Investigation on dimensions of people's participation in watershed management programs; Using Factor Analysis. Iran-Watershed Management Science and Engineering. 11(36): 69-75.

Clayton A. 2005. Empowerment people: A guide for participation (Translated By Piroz Izadi), Research Center Rural Issues, Tehran. pp. 65-83

Duram LA, Brown KG. 2010. Insights and applications assessing public participation in US watershed planning initiatives.Society and Natural Resources.12(5): 455-467.

Feiznia S, Salehpour Jam A, Kianian MK. 2006. Investigation of preventing factors affecting on people participation in natural resources plans (Case study: Roude-Shoor Watershed area). Journal of Mountainous Environment. 6(1): 65-72. (In persian).

Jafari MR, Namaki M, Rezaei J. 2011. Evaluating the role of villagers' participation in watershed management activities in Ilam Province. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran. pp. 10-11

Jafari MR, Rezaei J, Seidzadeh H. 2013. Study on Population Distribtion Pattern and Human strength in ilam province Watersheds. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran. pp. 15-16.

Johnson N, Ravnborg HM, Westermann O, Probst K. 2002. User participation in watershed management and research.Water Policy.3(6): 507-520.

Mansouri A, Salehpourjam A, Mohammadi

M, Kianian MK. 2016. Investigation and prioritizing preventing factors of people participation in natural resources plans (Case study: Kan Watershed area, Tehran, Iran), 2th National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. pp. 136-143. (In persian).

Miller RC, Guertin PD, Heilman P. 2004. Information technology in watershed. Journal of the American Water Resources Association. 40(2):347-357.

Moghadam R, Dinpanah GH, Zand F. 2013. Factors influence on economic- social effectiveness of watershed and natural resources plans. European Journal of Experimental Biology. 3(5): 400-406. (In Persian).

Mosaffaie J, Salehpour Jam A. 2018. Economic assessment of the investment in soil and water conservation projects of watershed management. Arabian Journal of Geosciences. DOI: 10.1007/s12517-018-3706-0.

Mosaffaie J, Ekhtesasi MR, Salehpour Jam A, Rajabi MR. 2017. Sediment source ascription in Vartavan catchment using composite fingerprint technique. Journal of Watershed Management Research. 8(16):123-131. (In Persian).

Mosaffaie J, Salehpour Jam A, Soltani MJ.2020. Identification and prioritization of effective factors on preventing participation of rural societies in watershed management plans case study (Niarij Watershed of Qazvin Province). Journal of Watershed Management Research. 11(22): 121-131. (In Persian).

Maleki M, Dehghani bidgoli R, Ghane Moghadam R. 2018. Investigating the effects of natural resources and watershed management plans implemented with the participation of field operators in rural development (Case study: Ghareh shiran Basin of the Nair City of Ardebil Province). Rural Development Strategies. 5(3): 347-362. (In Persian).

Mohammadi Golrang B, Lai FS, Sadeghi SHR. 2017. Evaluation of variables affecting people's participation in soil pasture and watershed management projects (Case study: Kouskabad Watershed in Khorasan Razavi). Journal of Research and Rural Planning. 6(17): 49-68. (In Persian).

Saaty Tl. 1980. The analytical hierarchy process: planning, priority, Resource Allocation. McGraw-Hill International Book Company. 287 p.

Saadoddin A, Alvandi E, Sheikh VB. 2015. Developing a decision support system for participatory and integrated management of the Chel-Chai Watershed, Golestan Province. Journal of Watershed Management Research. 6(11): 124-136. (In Persian).

Sulaimanpour SM, Salehpour Jam A, Nowrozi AA, Khalil N, Keshavarz H. 2019. Experts' point of view in prioritizing factors affecting the lack of sustainable participation of rural communities in watershed management projects in Moradabad Meimand Watershed, Fars Province. Journal of Watershed Research. 32(3): 53-62. (In Persian).

Salehi L. 2007. Investigation of effective factors on people participation in watershed management plans. 4th International Conference of Watershed Management, University of Tehran. pp 128-135. (In Persian).

Salehpour Jam A, Sarreshtehdari A, Tabatabaei MR. 2018. Prioritizing preventing factors affecting on stakeholder's participation in watershed plans based on experts' idea, Case study: Watershed area surrounding city of Tehran. Journal of Watershed Engineering and Management. 9(4): 441-450. (In Persian).

Salehpour Jam,TabatabaeiMR,Mosaffaie J, Soltani MJ, Shadmani AR. 2021. Barriers to participatory implementation of soil conservation projects: Perspectives and priorities. Environmental Science and Policy.-131(1): 36-45. (In Persian).

Salehpour Jam A, Masfaei J, Tabatabai MR. 2020. Different views of the obstacles to people's participation in watershed management projects in the south of Arad, Ray city. Journal of Watershed Research. 34(2): 61-76. (In persian).

Singleton A, Taylor M. 1992. Common property, collective action and community. Jornal of Theoretical Politics. 4(3): 309-324.

Zarei M, Azmude A, Amirnezhad H, Pirnia A. 2014. Evaluation of effective factors on preventing participation of beneficieries in watershed management projects (Case study: Berenjestanak Watershed). Journal of Natural Resource Economics. 2(2): 63-72. (In Persian).

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Identification and Prioritization of Effective Factors on Preventing Participation of Rural Societies in Watershed Management Plans in Asman Abad Watershed of Ilam Province

Mohammad Reza Jafari*1, Amin Salehpour Jam2

1- Assistant Professor of Natural Resources and Watershed Research Department, Ilam Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ilam, Iran

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

Extended Abstract

Introduction and Objective

The participation of villagers in watershed management activities has been paid attention to by the country's planners. Surveys have shown that the amount of people's participation was not as expected. This research is aimed at identifying the socio-economic characteristics of local communities, identifying indicators that are effective in reducing barriers and increasing public participation in the implementation of natural resources and watershed projects, understanding the expectations and needs of the local community, and finally providing scientific and technical solutions with the aim Increasing the amount of public participation was done in Asman Abad area of Cherdavel city.

Materials and Methods

In this research, the indicators influencing the non-participation of villagers in watershed management activities were determined and categorized based on four economic, social, design-executive and educational-promotional indicators and with 12 sub-indices. The necessary information in this research was collected in the form of a survey and using questionnaires, interviews and numerous

Article Type: Research Article
***Corresponding Author E-mail:** Mg_jafari@yahoo.com
Citation: Jafari, M.R., Salehpour Jam, A. 2023. Identification and prioritization of effective factors on preventing participation of rural societies in watershed management plans in Asman Abad watershed of Ilam province. Watershed Management Research. 36(3): 2-16.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360304.1493

Received: 18 October 2022, **Received in revised form:** 12 November 2022, **Accepted:** 21 December 2022, **Published online:** 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 2-16.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

meetings with community members and local experts. To determine the sample size from Cochran's correlation, SPSS software was used for data analysis and Cronbach's alpha was used to check the validity of the questionnaire.

Results and Discussion

The results obtained from this research showed that in the Asman-Abad watershed, economic, design and implementation indicators played a greater role in people's non-participation than educational-promotional and social indicators. From the perspective of experts, the sub-index of ignoring people's income as a direct economic incentive and not paying attention to non-governmental organizations were the most and least important in people's non-participation, respectively, with an average rating of 9.35 and 3.69. From the point of view of the local communities, the sub-indices of ignoring the people's income as a direct economic incentive and not trusting the results and effectiveness of the projects are the most and the least important, respectively, with an average rating of 8.16 and 5.23 in the non-participation of the people. they had. The general result of the survey of local communities indicated that the factors of implementing multi-purpose projects and considering the interests of watershed residents can be the basis for trust and attracting active participation of people in watershed management projects.

.Conclusion and Suggestions

In Asman Abad watershed, the prioritization of indicators affecting people's non-participation in watershed projects showed that economic and design-executive indicators played a greater role compared to educational-promotional and social indicators. Also, the results of the weights obtained from the Friedman test for ranking the sub-indices affecting people's non-participation showed that two sub-indices - ignoring the people's income as a direct economic incentive and not paying attention to the opinions and suggestions of the watershed residents in the different stages of needs assessment, design and the implementation of watershed projects, from the point of view of both groups, were in the first four priorities and were relatively more important in the non-participation of rural communities.

Therefore, according to the findings of the research in order to create or improve people's participation in watershed management projects in the studied area, it is suggested that before the implementation of natural resources and watershed mangement projects, in relation to the existing problems, the conditions of the region and even the necessity of implementing the project Collect the points of view of the local community. Attracting the opinion of the residents of the watershed with the aim of cooperation in the implementation, protection, restoration and maintenance of projects, balanced and equal use of natural resources by the beneficiaries, appropriate use of the economic, social and technical abilities and capacities of the residents and the local community in creating and strengthening the participation of the local community is very effective Is.

Keywords: Friedman test, Unsuspectinge tests, Cronbach's alpha, multi-criteria decision making, Cochran's relationship

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

ارزیابی و واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی سبس در تعیین تبخیر–تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب (قره‌چریان– استان زنجان)

قباد رستمی‌زاد[1*]، مجتبی پاک‌پرور[2]، پرویز عبدی‌نژاد[3]

۱و ۳ - استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

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

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

تبخیر و تعرق، تعادل آب و انرژی خاک را که عمدتاً در مدل‌های گردش عمومی و مدل‌سازی آب و هوا استفاده می‌شود، هدایت می‌کند. در نتیجه، پیش‌بینی جریان آب رود، پیش‌بینی عملکرد محصول، سامانه‌های مدیریت آبیاری، کیفیت آب رود یا دریاچه همگی به سطوح تبخیر و تعرق بستگی دارند. به این دلیل، برآورد دقیق بیلان آب ضروری است. برآوردهای بهتر و دقیق تبخیر–تعرق امکان برنامه‌ریزی مؤثر آبیاری و استفاده بهینه از آب را برای سایر اهداف کشاورزی فراهم می‌کند. هدف این پژوهش ارزیابی و واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی سبس در تعیین تبخیر–تعرق در دشت سهرین - قره‌چریان در فاصله‌ی ۳۰ کیلومتر و در شمال‌غرب شهر زنجان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور تعیین تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل بیلان انرژی و سنجش‌ازدور سبس در دشت سهرن–قره‌چریان، تعداد ۱۷ تصویر لندست هشت، همراه با داده‌های هواشناسی ایستگاه همدید فرودگاه زنجان بررسی شد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** Rostamizad60@gmail.com

استناد: رستمی‌زاد، ق.، پاک‌پرور، م.، عبدی‌نژاد، پ. ۱۴۰۲. ارزیابی و واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی سبس در تعیین تبخیر–تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب (قره‌چریان– استان زنجان). پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۳۱-۱۷.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360611.1503

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۰/۰۴، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های ۱۷ تا ۳۱

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

همچنین با کمک مدل سبس، تبخیر–تعرق مزرعه‌ی کشت گندم با مساحت پنج هکتار در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۹/۷/۱ تا ۱۴۰۰/۰۶/۳۱ محاسبه و اعتبارسنجی شد. برای این منظور ورودی‌های مورد نیاز مدل سبس شامل آلبیدو، دمای سطح زمین، گسیلمندی، NDVI، شاخص پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، بلندی پوشش‌گیاهی، تراکم تاج پوشش گیاهی که در محیط نرم افزار ایلویس تهیه شد. داده‌های بده و حجم آب مصرفی با استفاده از مدل بیلان آب خاک نیز تعیین شد.

نتایج وبحث

براساس نتایج این پژوهش تبخیر و تعرق به‌دست آمده از مدل بیلان آب خاک ۲۴۱۱۵ مترمکعب و تبخیر و تعرق به‌دست آمده از مدل سبس ۲۸۷۵۰ مترمکعب با خطای ۱۶/۱۲ ٪ برآورد شد. همچنین نتایج به‌دست آمده از مدل سبس با تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از چهار شاخص ضریب تبیین (R^2)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین اریبی خطا (MBE) واسنجی شد که اندازه‌های این چهار شاخص به‌ترتیب ۰/۸۴۴، ۱/۰۶، ۱/۱۲ و ۰/۲۵ محاسبه شد، که این نتایج نشان دادند دستورالعمل سبس برای برآورد ETa در منطقه‌ی مطالعه‌شده دقت کافی داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بنابراین براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای در برآورد تبخیر–تعرق واقعی، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا است و با توجه به مشکلات روش‌های بیلان رطوبتی (مانند نقطه‌ای بودن، زمان‌بر بودن، هزینه زیاد، نیاز به ابزار دقیق و تقریباً نبود امکان استفاده از لایسیمتر) و مزایای استفاده از تصویرهای ماهواره (تحت پوشش دادن سطح گسترده‌ای از مزارع یا باغ‌ها، ارزان و سریع بودن) در برآورد تبخیر–تعرق می‌توان با پذیرفتن خطای کم نتایج قابل‌قبولی به‌دست آورد.

واژگان کلیدی: تصویرهای ماهواره، دشت سهرین، سنجش‌ازدور، مدل بیلان آب خاک

مقدمـه

تبخیر و تعرق[1](ET) یک پدیده‌ی غیرخطی و پیچیده است، به عامل‌های اقلیمی، خاکی و گیاهی مختلف بستگی دارد؛ بنابراین تعیین یک مدل ریاضی برای آن با درنظر گرفتن تمام عامل‌های مؤثر بر آن، کاری مشکل با منابع خطای قابل‌توجه است و به اطلاعات زیادی نیاز دارد که اندازه‌گیری آنها مشکل و وقت‌گیر است. در دهه‌ی اخیر یکی از مطرح‌ترین روش‌های برآورد ET، روش توازن انرژی سطحی است. در این روش، مؤلفه‌های مختلف توازن انرژی در مقیاس منطقه‌ای و با کمترین داده‌های زمینی محاسبه می‌شود. به‌طور خلاصه ارتباط بین تشعشعات دریافتی به‌وسیله‌ی ماهواره‌ها از سطح زمین در باندهای مرئی و مادون‌قرمز حرارتی و نیز وجود اختلاف زیاد در ویژگی‌های آب‌شناختی (هیدرولوژیک) سطح زمین، پایه و اساس معادله‌ها در دستورالعمل بیلان انرژی است (قهاری و پاک‌پرور ۲۰۲۱). در این دستورالعمل با توجه به شار ورودی به سطح زمین و خروج آن از راه طول موج کوتاه و بلند، امکان محاسبه تشعشع خالص جذب شده به‌وسیله‌ی هر سلول در سطح زمین فراهم می‌شود. این تشعشع با توجه به اختلاف درجه‌ی هوا و سطح زمین، شدت و ضعف پوشش گیاهی و مقاومت هوا پویای (آیرودینامیکی) سطح زمین به اجزا مختلف مانند جریان گرمایی خاک، جریان گرمای محسوس و جریان گرمای نهان تبخیر تقسیم می‌شود. یکی از روش‌های جدید برای برآورد ET خصوصاً در مناطق گسترده استفاده از سنجش‌ازدور است. با استفاده از دستورالعمل‌های سنجش‌ازدور مربوط به ET، در مدیریت منابع آب می‌توان گام بزرگی برداشت. یکی از این دستورالعمل‌ها، دستورالعمل سبس[2]، (سو ۲۰۰۲؛ سو و همکاران ۲۰۰۵؛ جیا ۲۰۱۳) است. امروزه فن‌های جدید سنجش‌ازدور مانند سبس توسعه داده شده‌اند تا بتوان ET را در مقیاس گسترده و برای مناطق ناهمگن برآورد کرد (سو و همکاران ۲۰۱۱).

مطالعات پرشماری پیرامون کار با مدل سبس در داخل و خارج از کشور انجام شده است. در منطقه‌ی شریف‌آباد قزوین ماهور و همکاران (۲۰۱۵) اندازه‌ی تبخیر و تعرق را با استفاده از دستورالعمل سبس برآورد کردند و نتایج را با اندازه‌های تبخیر–تعرق گیاه مرجع (ETo) مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که دستورالعمل سبس دقت قابل‌قبولی برای برآورد تبخیر و تعرق دارد. نتایج پژوهش بوالحسنی و همکاران (۲۰۲۲) در آبخیز بختگان- مهارلو در استان فارس نشان داد که اندازه‌های تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده از روش توازن انرژی با اندازه‌ی میانگین تفاضل مطلق (MAD) ۰/۴۹ و اندازه‌ی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۶۲ ، در مقایسه با روش فائو پنمن مانتیث، بیان‌گر عملکرد قابل قبول و منطقی مدل در برآورد تبخیر و تعرق بود. در دشت قزوین اندازه‌ی

1 - Evapotranspiration

2 - Surface Energy Balance System

تبخیر و تعرق با استفاده از دو دستورالعمل سبس و پای‌سیبال برآورد شد (فخار و کاویانی ۲۰۲۲). نتایج این دو دستورالعمل با داده‌های به‌دست آمده از لایسیمتر زهکش‌دار کشت شده با چمن مقایسه شد که نتایج بیان‌گر دقت بیشتر دستورالعمل پای‌سیبال در مقایسه با دستورالعمل سبس بود. در جنوب‌شرق استان فارس در منطقه‌ی گربایگان پژوهشگران مدل سبس را با استفاده از داده‌های زمینی واسنجی کردند و ضمن پیشنهاد معادله‌ای جدید برای عامل ورودی شدت باد و بهترین شیوه‌ی چینش ورودی‌ها، نتایج آن را به حداکثر تطابق با واقعیت رساندند (پاک‌پرور و همکاران ۲۰۱۴). در ماهیدشت اندازه‌ی تبخیر و تعرق با کمک دستورالعمل سبس و تصویرهای ماهواره لندست برآورد شد. نتایج این بررسی نشان داد تبخیر و تعرق محاسبه شده در هر چهار تاریخ ۱/۰۲ تا ۱/۲۲ بود که با تبخیر و تعرق محاسبه شده با مدل پنمن مانتیث فائو همبستگی زیادی داشت (فرهادی‌بانسوله و همکاران ۲۰۱۶). در دشت ابراهیم آباد مهریز–یزد دقت سه مدل سبال، سبس و متریک در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۳–۱۳۹۴ و ۱۳۹۷–۱۳۹۸ از ۱۹ تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای آبخیز میانکوه بررسی شد (پاینده ۲۰۲۱). نتایج این بررسی نشان داد مدل سبس تبخیر و تعرق روزانه را در مقایسه با تبخیر و تعرق بالقوه دیگر مدل‌ها بهتر ارزیابی کرده است. با به‌کارگیری دستورالعمل سبس و با استفاده از تصویرهای سنجنده‌ی نووا برای ماه‌های مه تا آگوست سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹، تبخیر و تعرق واقعی به‌شکل ماهانه برای کاربری‌های کشاورزی در آبخیز دریاچه‌ی ارومیه برآورد شد (باباجعفری و همکاران ۲۰۱۸). نتایج به‌دست آمده از این دستورالعمل با نیاز خالص آب آبیاری مقایسه شد. نتایج پژوهش با ضریب تبیین ۰/۸۵، دقت مناسب مدل را برای برآورد تبخیر و تعرق کاربری‌های کشاورزی آبی در آبخیز دریاچه‌ی ارومیه نشان داد. در بخش‌هایی از استان اوریجسل کشور هلند برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای لندست ۷ دستورالعمل سبس استفاده شد (هیل گورگیس ۲۰۰۶). نتایج بیان‌گر تفاوت آشکار (۲۰ تا ۱۰۰٪) در تبخیر و تعرق محاسبه شده بر اساس این دو روش بود. در شمال‌شرقی چین نتایج برآورد شارهای سطحی از تصویرهای مادیس ماهواره‌ی ترا و دستورالعمل سنجش‌ازدور سبس نشان داد که اندازه‌ی تبخیر و تعرق برآورد شده با دستورالعمل سبس تطابق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده با لایسیمتر داشت (لین و همکاران ۲۰۰۶). در آبخیز میکیندو در تانزانیا تبخیر و تعرق واقعی در میان انواع پوشش‌های مختلف سطح زمین بررسی شد (محمد و همکاران ۲۰۱۰). نتایج این پژوهش نشان داد انواع مختلف کاربری زمین، اندازه‌های تبخیر و تعرق مختلفی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه داشتند و برآورد تبخیر و تعرق واقعی مدل سبس همبستگی خوبی با تبخیر و تعرق ظرفیت محاسبه شده داشت. در آبخیز آپایام‌مانیامه در زیمبابوه تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل سبس محاسبه شد و نتایج آن با اندازه‌های ظرفیت مقایسه شد (واسوکا و همکاران ۲۰۱۱). نتایج این پژوهش نشان داد که اختلاف اندازه‌ها به‌طور متوسط ثابت بوده است. سینگ و سنی (۲۰۱۵) تبخیر–تعرق واقعی را با استفاده از دو روش سبس و متریک با به‌کارگیری تصویرهای لندست فصل رویشی محاسبه کردند و نتایج را با هم مقایسه کردند. یافته‌های آنها نشان داد که مدل سبس می‌تواند در طیف گسترده‌تری از بلندی به‌کار گرفته شود. در جنوب ایتالیا نیسا و همکاران (۲۰۲۱) مدل‌های سبس، متریک و مدل آب برای برآورد تبخیر و تعرق روزانه‌ی یک زمین زراعی با سه گیاه رازیانه، ذرت و گندم سیاه بررسی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که مدل سبس دقت بیشتری در مقایسه با سایر مدل‌ها داشت.

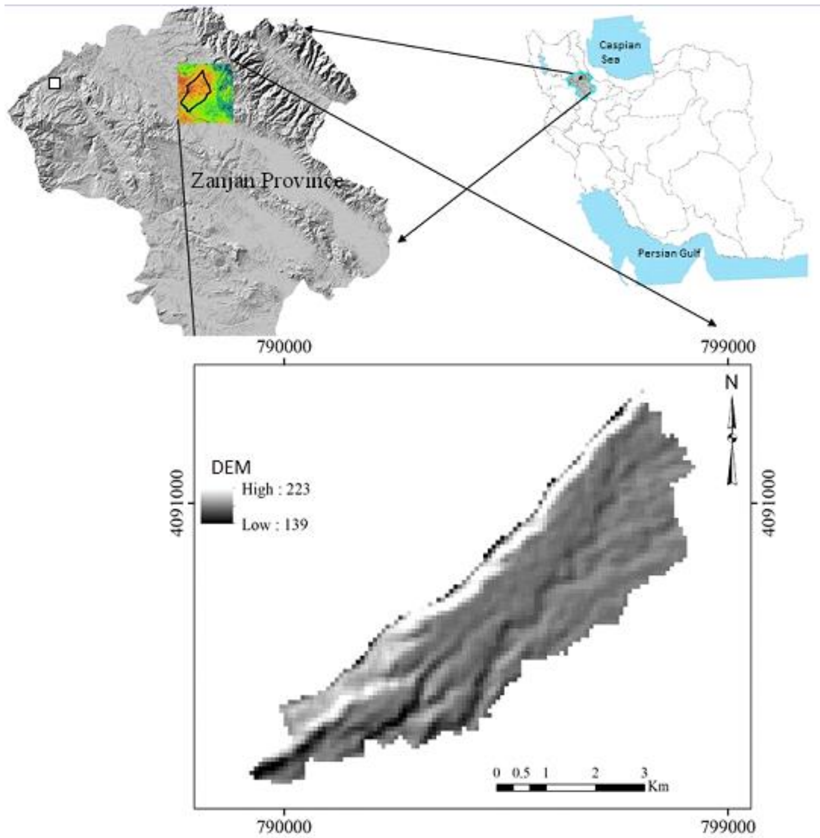
پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سنجش‌ازدور و تصویرهای ماهواره‌ای برای استخراج اندازه‌ی تبخیر و تعرق واقعی قابلیت زیادی دارند و در سراسر جهان به‌وسیله‌ی پژوهشگران استفاده شده‌اند. با توجه به اهمیت و ضرورت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت‌های متأثر از پخش سیلاب (خصوصاً پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین–قره‌چریان)، در این پژوهش تلاش شد تا ضمن گسترش سال‌های بررسی و کاربرد آن در منطقه‌ی مطالعه شده بتوان به برآورد تبخیر و تعرق واقعی رسید و به مناطق با شرایط مشابه تعمیم داد.

مواد و روش

موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده

ایستگاه تحقیقاتی و آبخوانداری قره‌چریان با فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری در شمال‌غربی شهر زنجان در دشت سهرین–قره‌چریان است. این ایستگاه در سال ۱۳۷۵ در زمینی با مساحت ۴۱۵ هکتار احداث شد که حدود ۲۱۵ هکتار از آن برای پخش سیلاب و تغذیه‌ی آبخوان استفاده شده است. آب‌دهی متوسط سالانه‌ی رود قره–چریان که سیلاب ورودی به ایستگاه از آن انحراف داده می‌شود، ۳۷/۵۶۲ لیتر در ثانیه است. شروع آبگیری از اسفندماه آغاز می‌شود و با توجه به ظرفیت بارندگی منطقه و ایجاد رواناب‌ها تا اواخر خردادماه ادامه می‌یابد. حداکثر آب‌دهی رود در ماه‌های فروردین (۳۸/۲۴۵۴ لیتر در ثانیه) و اردیبهشت (۱۶۵۱ لیتر در ثانیه) است که بیش‌ترین حجم آب انحراف داده شده به ایستگاه نیز در این ماه‌ها می‌باشد. براساس داده‌های ثبت‌شده به‌وسیله‌ی ایستگاه آب‌سنجی در ورودی ایستگاه تا تاریخ ۳۰ فروردین ۱۴۰۰ بیش از ۲۲ میلیون مترمکعب آب به عرصه‌ی پخش‌سیلاب وارد شده است. با توجه به نفوذپذیری زیاد رسوبات عرصه پخش سیلاب ایستگاه و شرایط جوی و تبخیر و تعرق بسیارکم منطقه، از این اندازه حجم آبگیری، حداقل ۶/۵ میلیون مترمکعب آب در سفره‌ی

آب زیرزمینی یا آبخوان منطقه ذخیره سازی می‌شود. این حجم آب ذخیره‌شده، مصرف آب کشاورزی، شرب و سایر نیازهای آبی ۱۳ روستای منتفع از آن را تأمین می‌کند. موقعیت مکانی منطقه‌ی مطالعه‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده (تحت تأثیر پخش‌سیلاب بر آبخوان قره چریان).

Figure 1 - The location of the studied area (the area affected by flood spreading on the Qaracherian Aquifer).

روش پژوهش

در این پژوهش از تصویرهای ماهواره لندست ۸ استفاده شد. از مدل سبس نیز برای برآورد تغییرات زمانی و مکانی ETa استفاده شد. نوع پوشش گیاهی و بلندی آن نیز با استفاده از بازدید زمینی تعیین شد و از زبان اسکریپ‌نویسی در نرم‌افزار ایلویس[3] برای توسعه‌ی مدل تعادل انرژی بهره‌گیری شد. افزون بر داده‌های سنجش‌ازدور، داده‌های هواشناسی ساعتی ایستگاه همدید فرودگاه زنجان در دوره‌ی یک‌ساله (۱۳۹۹-۱۴۰۰) و نقشه‌های کاربری زمین منطقه‌ی مزبور به‌عنوان ورودی مدل سبس به‌کار گرفته شد. از آنجا که هم‌اکنون تصویرهای لندست ۸ به‌طور رایگان در اختیار استفاده‌کنندگان است، به‌عنوان مبنا به‌کار گرفته شد. این تصویرها ۹ باند طیفی بازتابی با وضوح زمینی ۱۵ تا ۳۰ متر و دو باند حرارتی ۱۰۰ متر داشتند و در مقاطع زمانی ۱۶ روزه، از مرجع وبسایت ناسا یا USGS دانلود شدند و پس از بررسی کیفیت وارد چرخه پردازش اولیه شدند. دو گروه مهم تصحیح‌های رایج شامل تصحیح‌های هندسی و تشعشع‌سنجی روی داده‌های ماهواره‌ای انجام شد. دستورالعمل سبس به‌وسیله‌ی سو (۲۰۰۲) پیشنهاد شده است و شامل یک گروه ابزار برای تعیین سنجه‌های فیزیکی سطح زمین مانند آلبیدو، انتشار سطح، دما، پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ و بلندی گیاهان است. در مدل سبس سرعت اصطکاکی، شار گرمای محسوس و طول سنجه ایوکوف به‌وسیله‌ی حل معادله‌های غیرخطی به‌دست می‌آید و در نهایت ET روزانه با استفاده از کسر تبخیر که در طول روز ثابت فرض می‌شود و انرژی دسترس روزانه محاسبه می‌شود. در صورتی که اطلاعات گیاهی در دسترس نباشد شاخص گیاهی و NDVI به‌عنوان جانشین برای محاسبه‌ی سنجه استفاده می‌شود. برای برآورد ETa با استفاده از مدل سبس، نیاز به تصویرهای ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی بود. پس از انجام پردازش‌های اولیه ورودی‌های مدل سبس به‌شرح زیر استخراج شد:

3- Integrated Land and Water Information System

آلبیدو (سپیدایی)

آلبیدو با یکپارچه کردن بازتاب‌پذیری از نماینده‌ی باندهای ماهواره محاسبه شد. برای مثال باندهای۱ تا ۵ و ۷ سنجنده‌ی لندست، باندهای ۱ تا ۷ سنجنده‌ی مودیس و باندهای ۱ تا ۹ سنجنده‌ی استر، افزایش آلبیدو منجر به کاهش انرژی جذب‌شده به‌وسیله‌ی سطح شده است و تبخیر-تعرق کاهش می‌یابد. در این پژوهش آلبیدو با استفاده از رابطه‌ی ۱ و در محیط نرم‌افزار ENVI برآورد شد.

(۱)

$$\alpha = b2 * 0.3 + b3 * 0.277 + b4 * 0.233 + b5 * 0.143 + b6 * 0.036 + b7 * 0.012$$

α: آلبیدو، b: باندهای سنجده‌ی لندست ۸ است.

دمای سطح زمین[۴] (LST)

دمای سطح زمین عامل مهمی در تغییر جهانی آب و هوا، رشد پوشش گیاهی و یخچال‌های طبیعی است. استفاده از روش‌های دورسنجی[۵] (RS) و تصویرهای ماهواره‌ای[۶] می‌توانند برای برآورد دمای سطح زمین بسیار مفید باشند. ماهواره‌های گروه لندست و استر از جمله ماهواره‌هایی می‌باشند که می‌توان با استفاده از آن‌ها دمای سطح زمین را برآورد کرد. سنجنده یا سنسورهای این قبیل ماهواره‌ها قادرند تا طیف طول موج مادون قرمز حرارتی یا TIR[۷] را اندازه‌گیری کنند. از این قابلیت برای برآورد دمای سطح زمین استفاده می‌شود. در این پژوهش دمای سطح زمین با استفاده از رابطه‌ی ۲ و در محیط نرم‌افزار ENVI برآورد شد.

(۲)

$$LST = (\mathbf{b1}) + (\mathbf{b2} * (\mathbf{b1}/14380) * (\mathbf{alog}(\mathbf{b3})))$$

LST: دمای سطح زمین، b1: دمای درخشندگی باند حرارتی، b2: رادیانس باند حرارتی و b3: گسیلمندی است.

شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار[۸] (NDVI)

این شاخص براساس تفاضل بهنجارشده باند مادون قرمز نزدیک از باند قرمز به‌دست می‌آید و گویای بسیار مطلوبی از درجه انبوهی و نیز شادابی گیاه روی سطح زمین است. شاخص NDVI با استفاده از رابطه‌ی ۳ و در محیط نرم‌افزار ENVI برآورد شد.

(۳)

$$NDVI = \frac{(b_{NIR} - b_R)^2}{(b_{NIR} + b_R)^2}$$

NDVI: شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار، b_{NIR}: باند مادون قرمز نزدیک، b_R: باند قرمز است.

شاخص سطح برگ[۹] (LAI)

برآورد ویژگی‌های ساختاری پوشش‌گیاهی مانند شاخص سطح برگ یک گام مهم در تعیین اندازه‌ی آب مصرفی در گیاهان مختلف است. براساس تعریف جهانی FAO شاخص سطح برگ از تقسیم سطح برگ‌های سبز به سطح زمین به‌دست می‌آید. شاخص LAI به‌طور گسترده‌ای برای استخراج مدل‌های رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق، فرسایش، برگاب و فتوسنتز استفاده می‌شود. شاخص سطح برگ (LAI) یکی از متغیرهای مهم در پژوهش‌های اقلیمی، بوم‌شناختی و زراعی به‌شمار می‌رود. بنابراین اندازه‌گیری دقیق شاخص سطح برگ برای درک اثر متقابل میان رشد و نمو گیاه و محیط امری ضروری است. شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه‌ی ۴ و با استفاده از نرم افزار ایلویس برآورد شد (پاک‌پرور ۲۰۱۵).

(۴)

$$LAI = EXP((NDVI + 0.1912)/0.78)$$

LAI: شاخص سطح برگ، NDVI: شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار است.

درصد پوشش

درصد پوشش، اندازه‌ی پوشش سطح خاک است که به‌وسیله‌ی گیاه پوشیده شده است. یعنی بیان‌گر آن است که چه نسبتی از هر پیکسل را پوشش گیاهی تشکیل داده است. این سنجه با استفاده از رابطه‌ی ۵ برآورد شد (پاک‌پرور ۲۰۱۵).

(۵)

$$FC = IFF(NDVI < 0.1, 0.05, 1.06 * NDVI - 0.006)$$

FC: درصد پوشش گیاهی، NDVI: شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار است.

گسیلمندی[۱۰]

گسیل‌مندی اندازه‌ی نسبی توانایی هر جسم به تاباندن انرژی در مقایسه با یک جسم سیاه در محدوده‌ی مادون قرمز است. انرژی گسیل‌شده (emitted) نشان دهنده‌ی اندازه‌ی حرارت جسم است به‌طوری که جسم سیاه عدد ۱ و جسم تابان روشن عدد صفر است. بیشتر پدیده‌های زنده، سطوح رنگ‌شده و رایج

4 - Land Surface Temperature
5 - Remote Sensing
6 - Satellite Data Imagery
7 - Thermal Infrared
8 - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
9 - Leaf area index (LAI)
10 Emission

در پیرامون ما گسیل‌مندی ۰/۹۵ دارند. گسیل‌مندی پدیده‌های ثبت‌شده در تصویرهای ماهواره‌ای را می‌توان براساس معادله‌های مختلفی محاسبه کرد. در این پژوهش گسیلمندی با استفاده از رابطه‌ی ۶ و در محیط نرم‌افزار ENVI برآورد شد.

$$LSE = (0.004 * FC) + (0.986) \quad (۶)$$

LSE: گسیل‌مندی، FC: درصد پوشش گیاهی است.

بلندی پوشش گیاهی

بلندی متوسط پوشش گیاهی منطقه را نشان می‌دهد و از دیگر سنجه‌های ورودی به مدل سبس بود. این سنجه با استفاده از رابطه‌ی ۷ و براساس NDVI استخراج شد (پاک‌پرور ۲۰۱۵).

(۷)

$$Ch = IFF(ndvi < 0.05, 0, (2.77 * ndvi - 0.13))$$

Ch: بلندی پوشش گیاهی، ndvi: شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار است.

مدل سبس

مدل سبس یک دستورالعمل سنجش‌ازدور است که براساس مفهوم بیلان انرژی طراحی شده است و برای برآورد شارهای انرژی[11] از مشاهده‌های طیفی ماهواره [12] و اطلاعات هواشناسی استفاده می‌کند و نیازمند سه گروه داده‌های ورودی است. گروه اول شامل تولیدات تشعشع‌سنجی یک ماهواره مانند آلبیدوی سطحی، گسیلندگی سطحی[13] و دمای سطحی است. گروه دوم محتویات اطلاعات هواشناسی است که شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعت آفتابی است. گروه سوم اطلاعات ورودی شامل پوشش گیاهی جزیی، شاخص سطح برگ و بلندی زبری[14] است (انکو ۲۰۰۹). اساس نظری و محاسبه‌ای مدل سبس، استفاده از معادله‌ی توازن انرژی (رابطه‌ی ۸) و محاسبه‌ی اندازه‌ی شار گرمای نهان تبخیر به‌عنوان باقی‌مانده‌ی این معادله برای هر پیکسل است (سو ۲۰۰۲).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (۸)$$

λET: شارگرمای نهان تبخیر (W/m^2)، R_n: شار تابش خالص، G: شار گرمای خاک و H: شار گرمای محسوس است.

تشعشع خالص واقعی در سطح معرف انرژی تابشی سطحی است و با استفاده از رابطه‌ی ۹ موازنه‌ی شارهای تابشی خروجی و ورودی محاسبه می‌شود (سان و همکاران ۲۰۱۱).

$$R_n = (1-\alpha)R_{s\downarrow} + R_{l\downarrow-} - R_{l\uparrow} - (1-\varepsilon_0)R_{l\downarrow} \quad (۹)$$

R_n: شار تابش خالص (W/m^2)، α: آلبیدو، $R_{s\downarrow}$: تابش ورودی موج کوتاه، $R_{l\downarrow}$: تابش ورودی موج بلند، $R_{l\uparrow}$: تابش خروجی موج بلند و ε_0: گسیل‌مندی است.

شار گرمایی خاک [15]

شار گرمای خاک با استفاده از رابطه‌ی ۱۰ محاسبه شد (سان و همکاران ۲۰۱۱).

(۱۰)

$$\frac{G}{R_n} = \frac{(T_s - 273.15)}{a(0.0038a + 0.0074a^2)(1 - 0.98NDVI^4)}$$

α: آلبیدو، TS: دمای سطح (بر حسب کلوین) است.

اگر مقدار NDVI کمتر از صفر باشد، سطح آب در نظر گرفته می شود و نسبت G/Rn معادل ۵/۰ در نظر گرفته می‌شود. به‌دلیل مشکل بودن برآورد مستقیم G، اندازه‌های این سنجه به‌شکل نسبت G/Rn محاسبه شد و سپس با استفاده از اندازه‌های تابش خالص محاسبه‌شده، اندازه‌ی G به‌دست آمد. بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده است که نسبت G/Rn در نیمه‌ی روز با استفاده از شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده به‌وسیله‌ی ماهواره مانند LAI با دقت زیاد قابل پیش‌بینی است. البته این شیوه در نواحی با تاج پوشش کم بی اعتبار است. می‌توان گفت علت این است که اگر خاک بدون گیاه و خشک باشد بخش بزرگی از انرژی صرف گرم کردن خاک می‌شود و دمای سطحی افزایش خواهد یافت. از آنجا که اندازه‌ی شار گرمای خاک تابعی از دمای سطحی می باشد با افزایش دمای سطحی خاک، تفاوت بین دمای خاک سطحی و زیرسطحی افزایش می‌یابد که این امر سبب افزایش اندازه‌ی شار گرمای خاک خواهد شد. بنابراین انتقال گرما درون خاک قسمت مهم‌تری از تابش خالص را در بر می‌گیرد.

شار گرمای محسوس [16]

شار گرمای محسوس از حساس‌ترین و پیچیده‌ترین مؤلفه‌های مدل است و می‌توان گفت که در مدل سبس به‌شکل کامل‌تری در مقایسه با سایر مدل‌ها به این مؤلفه توجه شده است. طی یک گروه فرضیه‌ها و با تعیین شرایط حدی، این مؤلفه براساس سنجه‌های سرعت باد، دمای هوا و دمای سطح زمین محاسبه می‌شود و به هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای اختصاص می‌یابد. برآورد شار گرمای محسوس نیز سنجه‌های زیادی لازم دارد

11 - energy fluxes estimation

12 - satellite spectral observations

13 - surface emission

14 - roughness height

15 - soil heat flux=G

16 -sensible heat flux=H

که برخی از آن‌ها از تصویرهای ماهواره‌ای و برخی دیگر از داده‌های هواشناسی تهیه می‌شود. یکی از مهم‌ترین سنجه‌های مؤثر بر شار گرمای محسوس، پوشش‌گیاهی است. با زیاد شدن پوشش گیاهی اندازه‌ی گرمای محسوس کاهش خواهد یافت. یعنی این شار در مناطقی که دمای سطحی آنها بیشتر است اندازه‌ی بیشتری دارد که در حقیقت نشان‌دهنده‌ی مناطق با پوشش‌گیاهی اندک است. اساس مدل سبس در چگونگی واسنجی تابع H برای هر تصویر خاص ماهواره‌ای با کاربردهای قبلی سیبال متفاوت است. در مدل سبس استفاده شده در این پژوهش اندازه‌ی H با استفاده از رابطه ی ۱۱ که یک تابع هواپویا است برآورد شد

$$H = \frac{\rho \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (۱۱)$$

ρ: چگالی هوا (kg/m^3)، Cp: گرمای ویژه‌ی هوا در فشار ثابت (1004 J/kg/K)، dT: اختلاف دمای بین دو بلندی (z1 و z2) بر حسب درجه‌ی کلوین، rah: مقاومت هواپویای میان دو بلندی نزدیک سطح برای انتقال گرما (s/m) است.

با استفاده از مفاهیم دو حد خشک و تر، اندازه‌ی نسبت تبخیری[17] (EF) محاسبه می‌شود. در حد خشک فرض بر این است که خاک لخت و رطوبت آن حداقل است. بنابراین تبخیر به سمت صفر میل می‌کند. از این رو گرمای محسوس برابر تفاضل تشعشع و گرمای خاک خواهد بود با محاسبه Hdry و Hwet می‌توان نسبت تبخیری را با استفاده از رابطه‌ی ۱۲ محاسبه کرد.

$$EF = \frac{\lambda E}{(R_n - G)} = \frac{EF_r \times \lambda E_{wet}}{R_n - G} \quad (۱۲)$$

حال که اندازه‌های R_n، G، EF_r و λE_{wet} معلوم است با جابه‌جا کردن معادله می‌توان مجهول λE را محاسبه کرد. اگر متوسط ۲۴ ساعته R_n $(\overline{R_n})$ از سنجه‌های روزانه‌ی هواشناسی محاسبه شود، با این آگاهی که اندازه‌ی متوسط ۲۴ ساعته G $(\bar{G})$ نیز نزدیک به صفر است، می‌توان تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از رابطه ۱۳ برآورد شد.

ET_{daily}: تبخیر-تعرق واقعی (میلی‌متر در روز)، λ : نهان تبخیر (۵۴/۲ ژول بر کیلوگرم)، ρw : جرم حجمی آب (۱۰۰۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

$$ET_{daily} = 8.64 \times 107 \times EF \times \frac{\overline{R_n} - \bar{G}}{\lambda \rho w} \quad (۱۳)$$

اندازه‌گیری تبخیر و تعرق با استفاده از بیلان آب خاک

پس از محاسبه‌ی تبخیر و تعرق با مدل سبس، اندازه‌ی تبخیر و تعرق واقعی زمینی محاسبه شد. این سنجه با استفاده از معادله‌ی بیلان آب خاک محاسبه شد.

$$ET_a = Peff + I - RF \quad (۱۴)$$

Eta: اندازه‌ی تبخیر-تعرق واقعی، Peff: اندازه‌ی بارندگی، I: اندازه‌ی آبیاری، RF، اندازه‌ی آب برگشتی کشاورزی است. اندازه‌ی ETa به‌دست آمده از این معادله، اندازه‌ی واقعی در نظر گرفته شد و با اندازه‌ی برآوردی مدل مقایسه شد. اندازه‌های ورودی آبیاری که در مزرعه‌ی برگزیده اندازه‌گیری شده بود نیز استفاده شد. اندازه‌ی بارش مؤثر با استفاده از رابطه‌ی ۱۵ محاسبه شد.

$$P_{eff} = 125\frac{(125 - 0.2P)}{125} \; for\; P \le 250 \quad (۱۵)$$

P_{eff}: باران مؤثر، P: اندازه‌ی باران ثبت‌شده در فصل کشت است.

بر این اساس ابتدا مزرعه‌ای با کشت گندم با مساحت پنج هکتار در بالادست عرصه‌ی پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان انتخاب شد. پیش از شروع آبیاری و در حالی که خاک خشک بود، در سه نقطه‌ی مزرعه (ابتدا، وسط و انتها) در امتداد مسیر آبیاری با دو تکرار، به‌وسیله‌ی آگر از ژرفای صفر تا ۱۵۰ سانتی‌متری با فاصله های ۵۰ سانتی‌متر از خاک نمونه‌برداری شد و سپس اندازه‌ی رطوبت وزنی و جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش چون ژرفای نفوذ به‌دلیل وجود سخت‌کفه کمتر از ۷۰ سانتی‌متر بود در حقیقت اندازه‌ی آب برگشتی صفر بود و اندازه‌ی تبخیر و تعرق واقعی برابر مجموع آب آبیاری و بارش موثر برآورد شد.

نتایج و بحث

تهیه‌ی تصویرهای لازم

در این پژوهش از تصویرهای ماهواره‌ای لندست ۸ در بازه‌ی زمانی یک ساله (سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰) استفاده شد. منطقه‌ی قره‌چریان در دو ردیف و گذر ماهواره‌ای ۱۶۷۰۳۴ و ۱۶۶۰۳۵ بود. مشخصات تصویرهای گرفته‌شده مربوط به دوره‌ی آماری کشت گندم در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از دریافت تصویرها، تصحیح‌های جوی روی آنها انجام شد. سپس با استفاده از نرم افزار ENVI و ILWIS اندازه‌های LAI، PV،Fc، NDVI، ALBEDO، بلندی گیاه، LSE و LST برای هر تصویر به‌دست آمد و نقشه‌ی آن‌ها رسم شد.

17- Evaporative Fraction

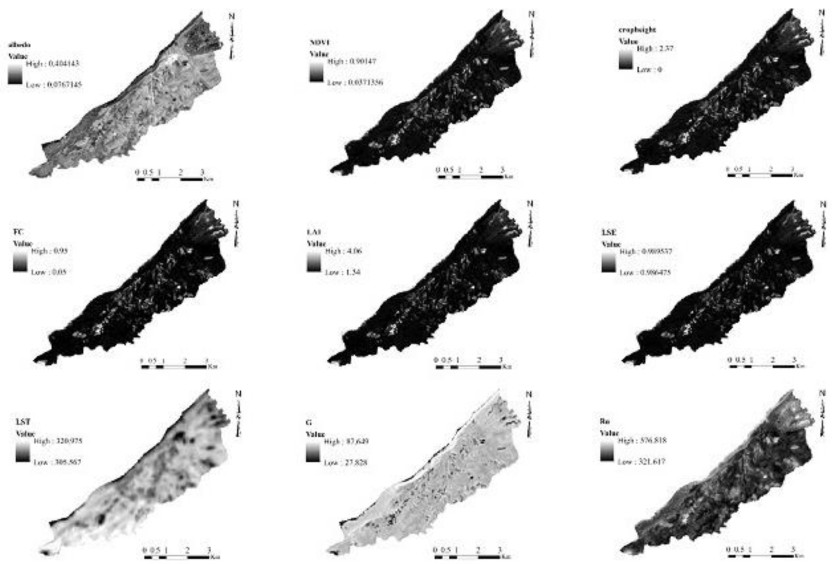
جدول ۱- مشخصات تصویرهای لندست ۸ استفاده‌شده در محدوده‌ی مطالعه‌شده.

Table 1- Characteristics of Landsat 8 images used in the study area.

id	Solar date	AD data	Path and row	Julian day
1	1399.7.3	2020.9.24	167- 034	268
2	1399.7.19	2020.10.10	167- 034	284
3	99.7.28	2020.10.19	166- 035	293
4	99.11.11	2021.1.30	167- 034	30
5	99.11.27	2021.2.15	167- 034	46
6	99.12.29	2021.3.19	167- 034	78
7	1400.1.24	2021.4.13	166- 035	103
8	1400.1.31	2021.4.20	167- 034	110
9	1400.2.9	2021.4.29	166- 035	119
10	1400.2.25	2021.5.15	166- 035	135
11	1400.3.17	2021.6.7	167- 034	158
12	1400.4.2	2021.6.23	167- 034	174
13	1400.4.18	2021.7.9	167- 034	190
14	1400.5.3	2021.7.25	167- 034	206
15	1400.5.19	2021.8.10	167- 034	222
16	1400.6.4	2021.8.26	167- 034	238
17	1400.6.20	2021.9.11	167- 034	254

اجرای مدل سبس

ورودی‌های لازم مدل شامل آلبیدو، دمای سطح زمین، گسیلمندی، NDVI، شاخص پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ[18] ، بلندی پوشش گیاهی، تراکم تاج پوشش گیاهی بودند که در محیط نرم افزار ایلویس تهیه شد (شکل ۲).



شکل ۲- تهیه‌ی لایه‌های ورودی مدل سبس در تاریخ ۱۴۰۰/۴/۱۸.

Figure 2- Preparation of Sebs model input layers on 2021.7.9 date.

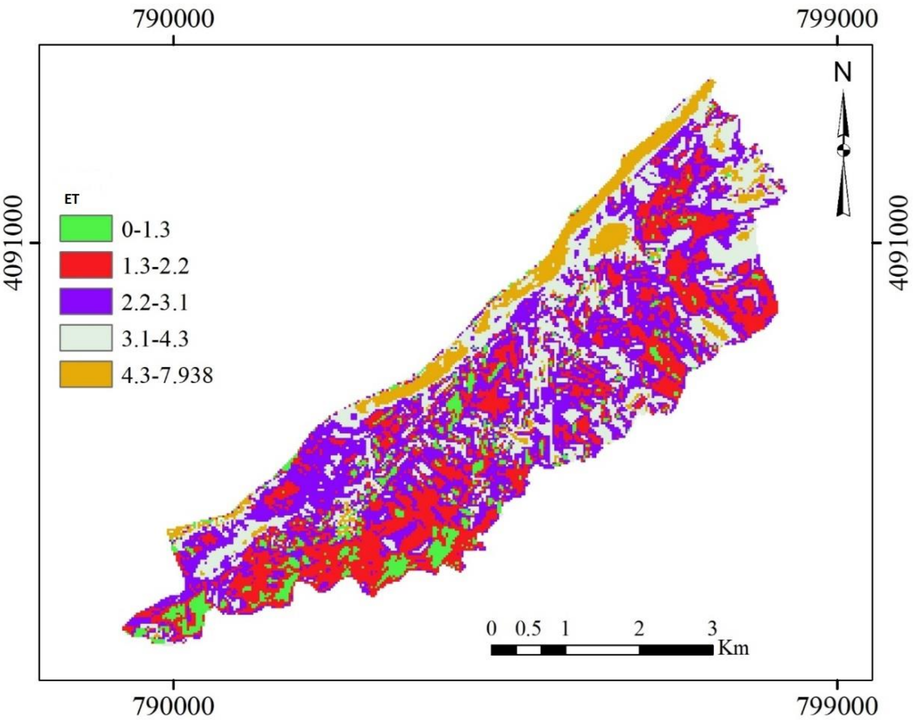
برآورد تبخیر و تعرق

از آنجا که تصویرهای ماهواره‌ای مربوط به مقاطع زمانی ۱۶ روزه بود و حتی در برخی از ماه‌ها به‌دلیل شرایط جوی و افزایش ابرناکی در آن تاریخ تصویر در دسترس نبود، این فاصله‌ی زمانی دو برابر شد. از طرف دیگر لازم بود که اندازه‌های تبخیر-تعرق روزهای میان این مقاطع نیز تعیین شود. به‌این منظور از اندازه-های تبخیر-تعرق گیاه مرجع ETo استفاده شد (سو و همکاران ۲۰۰۸). با محاسبه‌ی این سنجه برای تمام دوره‌ی سال آبی، نسبت میان ETa/ETo در مقاطع زمانی که تصویر داشتند، تعیین شد و این نسبت میان مقاطع زمانی برای تبدیل ETo به ETa استفاده شد. با تجمیع زمانی اندازه‌های روزانه‌ی ETa برای کل سال آبی محاسبه شد. با توجه به شکل ۳ دامنه‌ی تبخیر و تعرق در منطقه بستگی به درصد پوشش داشت. یعنی هرچه درصد پوشش گیاهی بیشتر باشد این اندازه نیز بیشتر خواهد بود.

افزون بر درصد پوشش گیاهی زمان و فصل نیز بر اندازه‌ی

18 - Leaf area index (LAI)

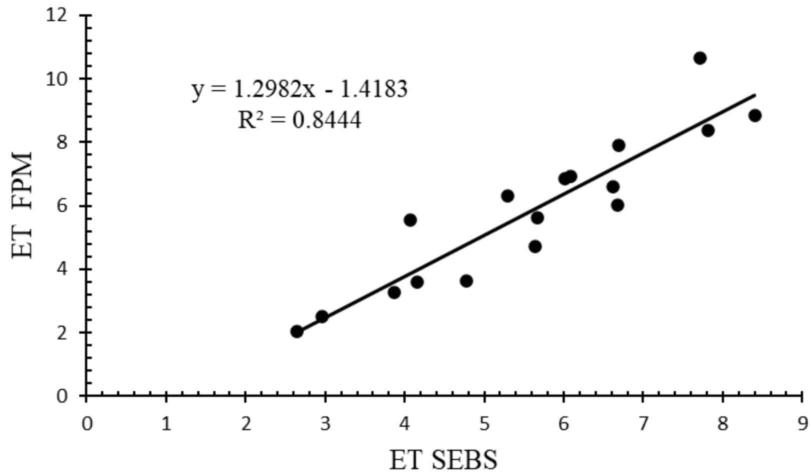
تبخیر و تعرق واقعی تأثیرگذار است. در این پژوهش با برآورد اندازه‌ی تبخیر و تعرق در ماه‌های سرد و گرم سال مشخص شد که در فصل‌های گرم اندازه‌ی تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد.



شکل ۳- نقشه‌ی تبخیر و تعرق واقعی برآوردشده با استفاده از مدل سبس در محدوده‌ی مطالعه‌شده در تاریخ ۱۴۰۰/۴/۱۸.
Figure 3- Actual evapotranspiration map estimated using Sebs model of the studied area on 2021.7.9 date.

واسنجی مدل

برآورد تبخیر-تعرق واقعی روزانه با استفاده از دستورالعمل سبس تنها در روزهایی که تصویرهای آن گرفته شده بود، انجام شد. برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی سایر روزها تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) با استفاده از روش پنمن مانتیث محاسبه شد. سپس برای روزهای متناظر تبخیر و تعرق برآوردی از مدل سبس و روش پنمن مانتیث، ضریب گیاهی (Kc) برآورد شد. به‌این منظور اعداد میان دو عدد ETa به‌دست آمده از تصویر ماهواره‌ای محاسبه شد و ET_0 تصویرهای مد نظر با استفاده از رابطه‌ی فائو پنمن مانتیس اندازه‌گیری و میان‌یابی شد. سپس از تقسیم ETa و ET_0 عدد واقعی ضریب گیاهی (Kc) به‌دست آمد. در ادامه با استفاده از درون‌یابی و برآورد ضریب گیاهی، تبخیر و تعرق واقعی برای کل روزهای سال برآورد شد. پس از برآورد تبخیر و تعرق متناظر مربوط به مدل سبس (Eta) و روش پنمن مانتیث (ET0)، رابطه‌ی وایازی میان این دو سنجه تعیین شد که نتیجه بیان‌گر وجود ضریب تبیین زیاد (R^2=۰/۸۴۴) بین این دو بود (شکل ۴).



شکل ۴- نمودار رابطه‌ی میان تبخیر و تعرق مرجع (ET0) و تبخیر و تعرق واقعی به‌دست آمده از مدل سبس (ETa).

Figure 4- The relationship between reference evapotranspiration (ET0) and actual evapotranspiration resulting from Sebs model (ETa).

مقایسه‌ی میان اندازه‌های برآورد شده به‌وسیله‌ی دستورالعمل سنجش‌ازدور سبس و تبخیر و تعرق بالقوه فائو پنمن - مانتیث نشان داد که میان اندازه‌های برآورد شده به‌وسیله‌ی این دستورالعمل و روش فائو پنمن - مانتیث ضریب تبیین زیادی بود (R^2=0.844). همچنین نتایج نشان داد که مدل سبس در برآورد تبخیر و تعرق واقعی دقت زیادی داشت. افزون بر این نتایج مدل سبس و تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از سه شاخص آماری ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین اریبی خطا (MBE) واسنجی شد. اندازه‌های این سه شاخص به‌ترتیب ۰/۸۴۴، ۱/۰۶، ۱/۱۲ و ۰/۲۵ محاسبه شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که دستورالعمل سبس برای برآورد ETa در منطقه‌ی مطالعه‌شده دقت لازم را داشت (آلن ۲۰۰۷؛ انکو ۲۰۰۹؛ پاک‌پرور ۲۰۱۵؛ مک کاب و وود ۲۰۰۶؛ وندواست و همکاران ۲۰۰۹؛ لوو و همکاران ۲۰۱۳).

جدول ۲- محاسبه‌ی شاخص‌های آماری ارزیابی نتایج مدل سبس.

Table 2- Calculation of statistical indicators for evaluating the results of Sebs model.

id	date	ET0 FPM	ET SEBS	R^2	MAD	MSE	RMSE
1	2020.9.24	5.555797	4.073				
2	2020.10.10	2.503595	2.959				
3	2020.10.19	3.253535	3.871				
4	2021.1.30	2.019262	2.65				
5	2021.2.15	3.592898	4.15				
6	2021.3.19	3.629282	4.77				
7	2021.4.13	6.301774	5.29				
8	2021.4.20	5.604182	5.67				
9	2021.4.29	4.698033	5.64	0.844	0.25	1.12	1.06
10	2021.5.15	6.920953	6.084				
11	2021.6.7	6.615086	6.62				
12	2021.6.23	10.64675	7.716				
13	2021.7.9	7.885473	6.696				
14	2021.7.25	8.858867	8.4				
15	2021.8.10	8.384	7.82				
16	2021.8.26	6.037106	6.67				
17	2021.9.11	6.838003	6.02				

اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی نتایج لازم بود که با داده‌های واقعی زمینی مقایسه شوند. در این پژوهش برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی زمینی از معادله‌ی بیلان آب خاک (رابطه ۱۴) استفاده شد. بر این اساس اندازه‌ی تبخیر و تعرق به‌دست آمده از مدل سبس با تبخیر و تعرق به‌دست آمده از مدل بیلان آب خاک مقایسه شد و ضریب خطا ۱۶/۱۲٪ به‌دست آمد (جدول ۳). لازم به ذکر است در منطقه‌ی مطالعه‌شده با توجه به نبود نفوذ عمقی آب آبیاری به‌دلیل وجود سخت‌کفه آهکی و نبود آب برگشتی، اندازه‌ی تبخیر و تعرق واقعی برابر با مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر در نظر گرفته شد.

$$\text{درصدخطا} = \frac{ET_{sebs} - ET_a}{ET_{sebs}} * 100 = \frac{28750 - 24115}{28750} * 100 = 16.12$$

این درصد خطا نشان داد که دستورالعمل سبس برای برآورد ETa در منطقه‌ی مطالعه‌شده دقت لازم را داشت.

جدول ۳- مقایسه‌ی نتایج مدل بیلان آب خاک و مدل سبس در منطقه‌ی مطالعه شده.

Table 3- Comparing the results of Soil Water Balance model and Sebs model in the study area.

Volume of irrigation water (m^3)	Effective precipitation (m^3)	ET Water Balance model (m^3)	Evapotranspiration – Sebs model (m^3)
20165	3950	24115	28750

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد تا اندازه‌های تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل توازن انرژی سبس و به‌شکل پیکسل به پیکسل در زمان دریافت تصویر ماهواره‌ای و برای هر تصویر محاسبه شود. هدف این پژوهش تعیین اندازه‌ی تبخیر-تعرق واقعی با کمک دستورالعمل سبس در آبخیز عرصه‌ی پخش سیلاب بر آبخوان قره-چریان استان زنجان بود که برای مدیریت بهینه‌ی منابع آب در این عرصه است. براساس نتایج و با وجود تفاوت‌های اندک در دو روش سبس و فائو پنمن مانتیث استفاده شده، مشخص شد تبخیر-تعرق واقعی به‌دست آمده از مدل سبس در مقایسه با تبخیر-تعرق بالقوه به‌دست آمده از معادله‌ی فائو پنمن-مانتیس، تفاوت معنی‌داری نداشت و در این پژوهش مدل سبس دقت لازم برای برآورد تبخیر و تعرق را داشت. نتیجه‌ی این پژوهش نشان داد که افزون بر کارآیی این دستورالعمل در مدیریت منابع آب در مقیاس آبخیز در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران می‌توان از آن در تعیین نیاز آبی محصولات مختلف تحت تنش‌های محیطی مختلف نیز بهره‌ی کافی را برد. افزون بر این مقایسه‌ی نتـایج این دو روش و محاسبه‌ی میـانگین ضـریب تبیین، MAD، MSE و RMSE به‌ترتیـب ۰/۸۴، ۰/۲۵، ۱/۱۲ و ۱/۰۶، میان نتـایج دستورالعمل سبس و فائو پنمن مانتیث نشان داد که دستورالعمل سبس کارایی مناسبی برای تعیین تبخیر و تعــرق در منطقــه‌ی مطالعــه‌شده داشت. برای اعتبارسنجی، این نتایج با داده‌های واقعی زمینی به‌دست آمده از معادله‌ی بیلان آب خاک مقایسه شد. بر این اساس اندازه‌ی تبخیر و تعرق به‌دست آمده از مدل سبس با تبخیر و تعرق به‌دست آمده از مدل بیلان آب خاک مقایسه شد و ضریب خطا ۱۶/۱۲ ٪ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که مدل سبس برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی اعتبار لازم را داشت.

بنابراین براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا است و با توجه به مشکلات روش‌های بیلان رطوبتی (مانند نقطه‌ای بودن، زمان‌بر بودن، هزینه زیاد، آسیب دیدن درخت، نیاز به ابزار دقیق و تقریباً نبود امکان استفاده از لایسیمتر) و مزایای استفاده از تصویرهای ماهواره (تحت پوشش دادن سطح گسترده‌ای از مزارع یا باغ‌ها، ارزان و سریع بودن) در برآورد تبخیر-تعرق می‌توان با پذیرفتن خطای کم نتایج قابل‌قبولی به‌دست آورد.

با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود ازلایسیمتر و فلاکس‌تاور برای انـدازه‌گیـری‌هـای زمینـی‌استفاده شود تا امکان واسنجی کـردن سنجه‌های ورودی مدل سـبس شامل آلبیـدو سطحی، دمای سطحی، شارهای تابش خالص، گرمای خـاک، گرمـای محسوس و دیگر سنجه‌ها فراهم شود و موجب کاهش خطا در برآورد تبخیر و تعرق واقعی شود. از طرف دیگر به‌منظور بهبود قدرت تفکیک زمانی نقشه‌های تبخیر-تعرق به‌دست آمده از تصویرهای ماهواره‌ای سنجنده لندست (۱۶ روز)، پیشنهاد می‌شود از تصویرهای سنجنده‌هایی با بازه‌ی زمانی کوتاه‌تر مانند مودیس و روش‌های ریز مقیاس کردن استفاده شود.

سپاس‌گزاری

این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی با کد مصوب ۹۷۰۵۹۲-۰۲۶-۲۹-۴۷-۰ پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد. نویسندگان این مقاله از دست اندرکاران به‌ویژه از پشتیبانی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان زنجان، پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری و اداره کل هواشناسی استان زنجان صمیمانه قدردانی می‌کنند.

فهرست منابع

Allen RG, Pereira LS, Howell TA, Jensen ME. 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management. 98 (6):899-920. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.015.

Allen RG, Tasumi M, Trezza R. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-model. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 133 (4):380-394. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380).

AllenR G, Burnett B, Kramber W, Huntington J, Kjaersgaard J. 2013. Automated calibration of the METRIC-Landsat evapotranspiration process. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 49 (3):563-576. https://doi.org/10.1111/jawr.12056.

Babajafari H, Paimozd S, Moghaddasi M. 2018. Estimation of actual evapotranspiration in the Urmia Lake Watershed using SEBS remote sensing algorithm and NOAA satellite images.Iranian Journal of Ecohydrology.-5(4):1285-1296. (In Persian). 10.22059/IJE.2018.258554.888.

Bolhasani K, Zarei H, Taghizadeh A. 2022. Estimation and calculation of actual evatranspiration using SEBS energy balance model and Landsat 8 Satellite imagery (Case study: Bakhtegan-Maharlo Basin).Irrigation and Water Engineering.12(4): 292-309. (In Persian). 10.22125/IWE.2022.150748.

Enku T. 2009. Estimation of evapotranspiration from satellite remote sensing and meteorological data over the Fogera Floodplain–east of Lake Tana, in northwest Ethiopia. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc. Thesis. 101 p. https://purl.utwente.nl/essays/93088

Fakhar MS, Kaviani A. 2022. Comparison and study of the role of PYSEBAL and SEBS algorithms in estimating actual evapotranspiration in Qazvin Plain.Water and Irrigation Management.12(2):277-293. (In Persian). 10.22059/JWIM.2022.338119.961.

Hailegiorgis WS. 2006. Remote sensing analysis of summer time evapotranspiration using SEBS algorithm. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc thesis. 130 p.

Jia D, Kaishan S, Zongming W, Bai Z, Dianwei L. 2013. Evapotranspiration estimation based on MODIS products and surface energy balance algorithms for land (SEBAL) model in Sanjiang Plain, Northeast China. China Geographical Science. 23(1):73–91. https://link.springer.com/article/10.1007/s11769-013-0587-8.

Lin W, van de Velde R, Su Z. 2006. Satellite based regional scale evapotranspiration in the Hebei Plain, Northeastern China. Proceedings of Dragon. 1(1):2004-2007.

Lu J, Li ZL, Tang R, Tang BH, Wu H, Yang, F, Zhou G. 2013. Evaluating the SEBS-estimated evaporative fraction from MODIS data for a complex underlying surface.Hydrological Processes.27(22): 3139-3149. -https://doi.org/10.1002/hyp.9440

Mahour M, Stein A, Sharifi A, Tolpekin V. 2015. Integrating super resolution mapping and SEBS modeling for evapotranspiration mapping at the field scale. Precision Agriculture. 16(5): 571-586. https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-015-9395-8.

McCabe MF, Wood EF. 2006. Scale influences on the remote estimation of evapotranspiration using multiple satellite sensors. Remote Sensing of Environment. 105 (4): 271-285. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.006.

Mohamed A. 2010. Remote sensing based estimation of evaporation among different land cover types in the Mkindo Catchment. Upper Wami Basin-Tanzania. M.Sc. Thesis in IWRM . 65 p.

Nisa Z, Khan MS, Govind A, Marchetti M, Lasserre B, Magliulo E, Manco A. 2021. Evaluation of SEBS, METRIC-EEFlux, and Qwater Model actual evapotranspiration for a mediterranean cropping system in southern Italy.-Agronomy.11(2): 345 p. https://doi.org/10.3390/agronomy11020345.

Pakparvar M, Cornelis W, Pereira LS, Gabriels D, Hosseinimarandi H. 2014. Remote sensing estimation of actual evapotranspiration and crop coefficients for a multiple land use arid landscape of southern Iran with limited available data. Journal of Hydroinformatics. 16 (6):1441-1460. https://doi.org/10.2166/hydro.2014.140.

Pakparvar M. 2015 Evaluation of floodwater spreading for groundwater recharge in Gareh Bygone Plain, Southern Iran. In Soil Management Dept., Faculty of Bioscience Engineering. Ghent University, Ghent, Belgium. 252 p. http://hdl.handle.net/1854/LU-6997248.

Payandeh H. 2021. Master's thesis in remote sensing and geographic information system, Yazd University. 138 p. (In Persian).

Qahari Gh, Pakparvar M. 2021. Determining the water consumption of different types of vegetation with energy balance models and remote sensing in Dasht Garbaigan. Final Report of the Research Project. 92 p. (In Persian).

Rwasoka D, Gumindoga W, Gwenzi J. 2011. Estimation of actual evapotranspiration using the surface energy balance system (SEBS) algorithm in the upper Manyame Catchment in Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 36(14-15):736-746 . https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.035.

Singh RK, Senay GB. 2015. Comparison of four different energy balance models for estimating evapotranspiration in the Midwestern United States. Water. 8(1): 1-19. https://doi.org/10.3390/w8010009.

Su H, McCabe MF, Wood EF, Su Z, Prueger JH. 2005. Modeling evapotranspiration during SMACEX: Comparing two approaches for local-and regional-scale prediction.Journal of hydrometeorology.6(6): 910-922. https://doi.org/10.1175/JHM466.1.

Su Z, Timmermans W, Gieske A, Jia L, Elbers JA. 2008. Quantification of land–atmosphere exchanges of water, energy and carbon dioxide in space and time over the heterogeneous Barrax Site. International Journal of Remote Sensing. 29 (17-18): 5215-5235. https://doi.org/10.1080/01431160802326099.

Su z. 2002. The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences. 6 (1): 85-100.

Sun Z, Wei B, Su W, Shen W, Wang C, You D, Liu Z. 2011. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi LakeWetland of China. Mathematical and Computer Modelling. 54 (3-4):1086–1092. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.039.

Van der Kwast J, Timmermans W, Gieske A, Su Z, Olioso A, Jia L, De Jong S. (2009). Evaluation of the Surface Energy Balance System (SEBS) applied to ASTER imagery with flux-measurements at the SPARC 2004 site (Barrax, Spain).Hydrology and Earth System Sciences,13(7): 1337-1347. https://doi.org/10.5194/hess-13-1337-2009.

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Evaluation and Calibration of SEBS Surface Energy Balance Model in Determining Evapotranspiration of Plains Affected by Flood Spreading (Qaracherian-Zanjan Province)

Ghobad Rostamizd *1, Mojtaba Pakparvar 2, Parviz Abdinejhad 3

1and 3- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

2- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective:

Evapotranspiration govern the water and energy balance of the soil, primarily used in general circulation models and hydrological modeling of weather conditions. Consequently, predicting river flow, forecasting crop performance, water management systems, and the quality of rivers or lakes all depend on evapotranspiration levels. Therefore, accurate estimation of water bilan is essential. Improved and precise estimations of evapotranspiration enable effective irrigation planning and optimal water usage for other agricultural purposes. The goal of this research is to evaluate and validate the surface energy balance model, SEBS, in determining evaporation-transpiration in the Sohrin-Qareh Chiran Plain, located 30 kilometers northwest of Zanjan city.

Materials and methods:

In this study, the actual evapotranspiration were determined using the SEBS energy balance model and Landsat imagery in the Sohrin-Qareh Chiran Plain. A total of 17 Landsat-8 images, along with weather data from the Zanjan airport station, were examined. Additionally, with the help of the SEBS model, the evapotranspiration of a five-hectare wheat field was calculated and validated for the time period from September 22, 2020, to September 22, 2021. The required inputs for the SEBS

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** Rostamizad60@gmail.com

Citation: Rostamizd, GH., Pakparvar, M., Abdinejhad, P. 2023. Evaluation and calibration of SEBS surface energy balance model in determining evapotranspiration of plains affected by flood spreading (Qaracherian-Zanjan Province). Watershed Management Research. 36(3): 17-31.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360611.1503

Received: 17 November 2022, **Received in revised form:** 25 December 2022, **Accepted:** 19 March 2023,

Published online: 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 17-31.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

model, including albedo, land surface temperature, emissivity, NDVI, vegetation cover index, leaf area index, vegetation height, and canopy density, were prepared in the ENVI software environment. The data on precipitation and water consumption volume were also determined using the soil water balance model.

Results and discussion:

The study found that the evapotranspiration estimated by the soil water balance model was 24115 m3, while the evapotranspiration estimated by the SEBS model was 28750 m3, with a 16.12% error. Additionally, the SEBS model was calibrated using four indices - R2, RMSE, MAE, and MBE - with values of 0.844, 1.06, 1.12, and 0.25, respectively. These results indicate that the SEBS algorithm is accurate enough to estimate ETa in the study area.

Conclusion and Suggestions:

Therefore, based on the results of this research, it can be said that the use of satellite images in estimating actual evapotranspiration (ET) is reliable compared to field measurement methods. Considering the limitations of traditional moisture balance methods (such as being point-specific, time-consuming, costly, requiring precise instruments, and almost impractical with the use of lysimeters) and the advantages of utilizing satellite images (covering a wide area of farms or orchards, being cost-effective and fast), acceptable results can be achieved in estimating evapotranspiration while accepting a low margin of error.

Key words: **Satellite images, Soharin plain, remote sensing, soil water balance model**

پژوهش های آبخیزداری

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸

ارزیابی اثر پخش سیلاب بر نوسان‌های شاخص‌های گیاهان مرتعی در ایستگاه آبخوانداری کوثر

سید محمدرضا حبیبیان[1*]، غلامرضا قهاری[2]، احمد حاتمی[3]

۱ - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع‌طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲ -استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۳ -کارشناس ارشد، بخش تحقیقات منابع‌طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

پیشینه‌ی پخش سیلاب در زمین‌های حاشیه‌ی رودها و آبیاری سیلابی به چند هزار سال می‌رسد. شواهدی مبنی بر استفاده از سیلاب به‌منظور افزایش تولید گیاهی در نقاط مختلف ایران از جمله شهرستان‌های قزوین، بلوچستان، خراسان، فارس، اصفهان و خوزستان وجود دارد. بررسی‌های انجام شده در ۲۰ منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک کشور، بیان‌گر آن است که در بیشتر مناطق شاخص‌های تولید و درصد تاج پوشش گیاهان، در عرصه‌ی گسترش سیلاب در مقایسه با شاهد، افزایش چشمگیری داشته است. هدف این پژوهش، بررسی اثر پخش سیلاب بر پویایی پوشش گیاهی مرتع و مشخص کردن نوسان‌های اندازه‌ی شاخص‌های گیاهی متناسب با شاخص‌های آب و هوایی در یک دوره‌ی شش ساله است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور پایش و مقایسه‌ی نوسان‌های شاخص‌های گیاهی در ایستگاه آبخوانداری کوثر، دو شبکه (نماینده‌ی عرصه با پخش سیلاب) با نام‌های بیشه‌زرد یک و بیشه‌زرد چهار و در مجاور آن‌ها پهنه‌ای با مساحت پنج هکتار در خارج

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: حبیبیان، س،م،ر.، قهاری، غ،ر.، حاتمی، ا. ۱۴۰۲. ارزیابی اثر پخش‌سیلاب شاخص‌های گیاهان مرتعی در ایستگاه آبخوانداری کوثر. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳):۴۸-۳۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360770.1508

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۱/۰۶، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های۳۲ تا ۴۸.

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

شبکه‌ها به‌عنوان شاهد (نماینده‌ی عرصه‌ی بی‌پخش سیلاب) انتخاب شد. به‌مدت شش سال (۱۴۰۱-۱۳۹۵) در نیمه‌ی دوم اردیبهشت هر سال، ۱۰ نوار اندازه‌گیری (ترانسکت) با طول ۱۵۰ متر و ۱۰۰ قطعه‌ی نمونه‌ی یک متر مربعی با شیوه‌ی تصادفی- نظام‌مند (سیستماتیک) در نوارهای شبکه‌ها و عرصه‌ی شاهد مستقر شد. گونه‌های شاخص مرتعی دشت پخش سیلاب گربایگان فسا به‌ترتیب بوته‌های سیاه‌گینه، گل‌آفتابی و انواع گون با زیر اشکوب گندمیان و پهن برگان علفی یکساله *Dendrostellera lessertii* (Wikstr)Van Tiegh., *Heliantemum lippii* (L) Pers, *Astragalus ssp*. است. از شاخص‌های گیاهی (نام گونه، درصد تاج پوشش، تعداد پایه در متر مربع، شکل رویشی و زی‌توده گونه‌ها) و پوشش سطح خاک (درصد سنگ و سنگ‌ریزه، درصد لاشبرگ و درصد خاک لخت) آماربرداری شد. با استفاده از روش شش عاملی تعدیل‌شده، وضعیت مرتع در شبکه‌های پخش سیلاب در سال‌های مرطوب و در سال‌های خشک ارزیابی شد. در سال‌های بررسی برای مقایسه‌ی تیمارهای مختلف مرتع (میان شبکه‌ها و نوارهای پخش سیلاب و شاهد) از طرح کرت‌های دو بار خرد شده در زمان و مکان در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. برای تعیین مدل پیش‌بینی تولید و پوشش تاجی گیاهان مرتعی از ضریب همبستگی پیرسون وایازی گام‌به‌گام استفاده شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اندازه‌ی شاخص‌های گیاهی ارزیابی شده، میان سال‌های بررسی، میان شبکه‌ها و میان نوارهای پخش سیلاب با شاهد در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری داشتند. اندازه‌ی درصد تاج پوشش گیاهی در طول دوره‌ی آماربرداری از ۸/۶۹ ٪ در سال ۱۴۰۰ تا ۵۵/۵۱ ٪ در سال ۱۳۹۹ و اندازه‌ی تولید از ۱۷۵/۳۲ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۰ تا ۸۱۳/۵۵ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۹ متغیر بود. با استفاده از روش شش عاملی تعدیل‌شده وضعیت مرتع در شبکه‌های پخش سیلاب در سال‌های مرطوب، خوب و در سال‌های خشک، متوسط ارزیابی شد. در حالی‌که در عرصه‌ی شاهد (بی پخش سیلاب) در سال‌های مرطوب، فقیر تا متوسط و در سال‌های خشک، خیلی فقیر تا غیر قابل استفاده برای چرا ارزیابی شد. براساس نتایج تحلیل همبستگی، میان درصد تاج پوشش با زی‌توده‌ی گیاهان مرتعی در سطح یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری به‌دست آمد (R^2 =۰/۸۶). نتایج وایازی گام‌به‌گام نشان داد که در مدل پیش‌بینی تولید گیاهان، متغیرهای مستقل (شاخص‌های آب و هوایی) اندازه‌ی بارش سالانه (R^2 =۰/۳۴) و میانگین دمای کمینه (R^2 =۰/۲۶) بود. ضریب همبستگی اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان ۰/۱۵ بود. ضریب همبستگی میانگین دمای سالانه ۰/۱۱ و ضریب همبستگی مجموع آن‌ها ۰/۸۶ بود. در مدل پیش‌بینی درصد تاج پوشش گیاهان، متغیر مستقل اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان (R^2 =۰/۸۷) سهم اصلی و تعیین‌کننده در برآورد اندازه‌ی متغیر وابسته داشتند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تفاوت درصد تاج پوشش گیاهی شبکه‌ی بیشه‌زرد یک در سال‌های مرطوب (سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، ۱۳۹۶-۱۳۹۵، ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) در مقایسه با شبکه‌ی بیشه‌زرد چهار و شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود. در سال‌های خشک (سال‌های آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰) این درصدها در شاهد در مقایسه با دو شبکه‌ی بیشه‌زرد یک و چهار بیشتر بود. به‌طور کلی میان تولید گیاهان با تاج پوشش گیاهی (R^2 =۰/۸۶) و با اندازه‌ی بارش سالانه (R^2 =۰/۹۲) و با اندازه‌ی بارش در زمان سیل (R^2 =۰/۸۴)، و با رخداد تعداد سیل (R^2 =۰/۹۶) و با مدت زمان رخداد سیلاب (R^2 =۰/۹۶) بود. با اندازه‌ی بارش پاییز و زمستان (R^2 =۰/۹۴) و با اندازه‌ی بارش در دوره‌ی رشد گیاهی با ضریب همبستگی (R^2 =۰/۹۳) در سطح یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری به‌دست آمد. براساس آماربرداری سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱، میانگین شش ساله‌ی تولید علوفه خشک شاهد، بیشه‌زرد یک و بیشه‌زرد چهار به‌ترتیب ۲۵۲/۲۵، ۵۲۸/۳۱ و ۳۶۲/۱۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. اندازه‌ی تولید در شبکه‌های پخش سیلاب ۱/۴۳ تا ۲ برابر شاهد بود. در سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ تفاوت نوسان شاخص تولید گیاهان در شبکه‌های بیشه‌زرد یک و بیشه‌زرد چهار در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود. به‌طور کلی با توجه به اینکه آب یکی از عامل‌های اصلی محدود کننده‌ی رشد و نمو گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، به‌کارگیری پخش سیلاب به‌عنوان روش ساده، کم هزینه و سازگار با طبیعت برای بهبود شاخص‌های رشد کمی گیاهان مرتعی، اجتناب‌ناپذیر است.

واژگان کلیدی: اثر سیل، پایش مراتع، تاج پوشش گیاهی، تولید مرتع، گربایگان فسا

مقدمـــه

پیشـــینه‌ی پخش ســـیلاب بر زمین‌های مجاور رودها و آبیاری سیلابی به چند هزار سال می‌رسد. باستان شناسان آغاز مهار طغیان‌های نیل و انتقال بخشی از سیلاب را به کشت‌زارهای باختر آن رود به عهد منس[1] (۳۴۰۰ قبل از میلاد) نسبت می‌دهند. آبیاری سیلابی از فرات نیز تقریباً همان قدمت را دارد. شواهدی مبنی بر استفاده از سیلاب به‌منظـــور تولید گیاهی در نقاط مختلـــف ایران از جمله پیرامون قزوین، بلوچســـتان، خراسان، فارس، اصفهان و خوزســـتان وجود دارد. بررسی‌های پخش سیلاب از سال ۱۳۵۰ به‌وسیله‌ی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع در نودهک قزوین و از سال ۱۳۶۱ در گربایگان فسا آغاز شده اســـت (مصباح ۲۰۱۶). از آن زمان تاکنون پژوهش‌های زیادی در رابطه با اثر پخش سیلاب بر پوشش گیاهی در کشور انجام شده است.

در ایســـتگاه جاجرم خراسان شـــمالی ایزانلو و همکاران (۲۰۱۶) اثر پخش ســـیلاب بر پوشش گیاهی را با روش قطعه‌ی نمونه‌گذاری در دو قطعه‌ی پخش سیلاب و شاهد بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش تاج پوشش گیاهی و تولید قطعه‌ی پخش سیلاب در مقایسه با شـــاهد در ســـطح یک درصد معنی‌دار بود. این تفاوت بیشـــتر مربوط به گیاهانی با شکل رویشی علفی بود. اگر چه درصد تاج پوشـــش بوته‌ها در قطعه‌ی پخش سیلاب بیشتر از شاهد بود، اما، تراکم آنها کمتر گزارش شد.

در ســـه ایســـتگاه بافـــق، مهریـــز و هرات اســـتان یزد فاضل‌پورعقدایی و همکاران (۲۰۱۵)، اثر پخش ســـیلاب را بر پوشـــش گیاهی با روش نوار اندازه‌گیری و قطعه‌ی نمونه بررســـی کردند. بر پایه‌ی نتایج این پژوهش، درصد تاج پوشـــش گیاهی عرصه‌ی پخش سیلاب بافق، مهریز و هرات ۶/۴، ۷ و ۳/۲۵٪ در مقایســـه با شـــاهد در سطح یک و پنج درصد افزایش معنی‌دار داشت. از آنجا که بجز اندازه‌ی رطوبت ســـایر ویژگی‌های خاک یکسان بود، این تغییر را می‌توان به رطوبت مازاد قطعه‌ی پخش سیلاب و در نتیجه پخش سیلاب نسبت داد.

مصبـــاح (۱۹۹۲)، درصد تاج پوشـــش گیاهی و تولید دو شـــبکه‌ی بیشه‌زرد یک و رحیم‌آباد دو را پس از ۱۰ سال پخش سیلاب بررسی کرد. ایشـــان اندازه‌ی تولید علوفه خشک قابل اســـتفاده‌ی دام در این دو شبکه را به‌ترتیب ۶۴۵ و ۱۰۷۵ کیلوگـــرم در هکتار و درصد تاج پوشـــش گیاهـــی را نیز به ترتیـــب ۵۷/۹ و ۷۴/۴٪، گزارش کرد. به‌عبارت دیگر بدون در نظر گرفتن ســـایر عامل‌ها (قرق) تولیـــد دو شـــبکه به‌ترتیب حـــدود ۱۳ و ۲۵ برابر پیش از پخش ســـیلاب شده است. در ایســـتگاه گربایگان فسا مصباح (۱۹۹۵) در سه نوار بیشه‌زرد چهار ضمن بررسی ژرفای رســـوب و پوشش گیاهی در ســـال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۳، نتیجـــه گرفت که رابطه‌ی میان ژرفای رســـوب و درصد تاج پوشـــش گیاهی در گندمیان مســـتقیم و در پهن‌برگان و بوته‌ای ها معکوس اســـت. مصباح (۲۰۰۲)، در پژوهش‌هـــای خود گزارش کرد که تولید و درصد تاج پوشـــش گیاهی شبکه در خشک‌ســـالی‌ها در مقایسه با میانگین ۱۰ ســـاله به‌ترتیـــب ۱۱/۳۸٪ و ۱۷/۲٪ کاهش یافت در حالی که در شـــاهد انـــدازه‌ی کاهش آنها ۵/۹ و ۱۵٪ بـــوده اســـت. به‌عبارت دیگر حساســـیت گیاهان شبکه‌ی پخش ســـیلاب به خشک‌سالی بیشتر از گیاهان شـــاهد بود. بر پایه‌ی بررسی مصباح و همکاران (۲۰۱۶) دامنه‌ی نوســـان ســـالانه‌ی علوفه‌ی خشک تولید شده‌ی سیلابی در ایستگاه آبخوانداری کوثر (گربایگان) از ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۳ از ۱۳۶/۳ تا ۷۲۱/۵ کیلوگرم در هکتار، و به‌طور میانگیـــن ۳۸۷/۱ کیلوگرم در هکتار بـــود؛ این اندازه‌ی برای شـــاهد ۴۴/۳ تا ۳۵۰/۲ کیلوگرم در هکتار، و به‌طور میانگیـــن ۱۴۰/۹ کیلوگرم در هکتـــار بود؛ به این ترتیب آبیاری ســـیلابی اندازه‌ی تولید را ۲/۷ برابر افزایش داده است. به‌همین ترتیب، دامنه‌ی نوسان سالانه‌ی درصد تاج پوشـــش ۱۹/۰ تا ۶۸/۰ ٪ با میانگیـــن ۳۰/۱ در آبیاری ســـیلابی، و ۹/۷ تا ۳۰/۲ ٪ با میانگین ۱۹/۸٪ در شاهد بود.

در ســـبزوار برآبـــادی (۲۰۱۳) گزارش کـــرد که اجرای عملیات پخش سیلاب سبب بهبود شرایط محیطی مانند اصلاح بافت خاک، کاهش شـــوری، افزایـــش مواد آلی، افزایش رطوبت و ... در منطقه شـــد. نتایج بررسی ایشان نشان داد که پخش شـــیلاب توانست بر افزایش پوشش گیاهی و اصلاح و احیای منطقه تأثیر قابل‌توجهی داشته باشـــد. بنابراین در مناطق خشک پخش سیلاب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار در راستای کاهش بیابان‌زایی مطرح باشد.

پژوهش میرجلیلی (۲۰۱۲)، روی پخش ســـیلاب هرات اســـتان یزد نشـــان داد که علت افزایش درصد پوشـــش گیاهـــی در عرصه‌هـــای پخش، به‌ویژه شـــبکه‌های اولیه در مقایســـه با شاهد وجود رســـوب، مواد آلی و مغذی مناســـب برای رشـــد گیاه و همچنین یکنواختی آبگیری شیب بود. ایشـــان گزارش کرد عرصه‌های بعدی به‌دلیل آبگیری کمتر، اندازه‌ی پوشش گیاهی کمتری داشتند. در ایستگاه چنداب ورامین نتایج پژوهش آژیر (۲۰۰۴) نشان

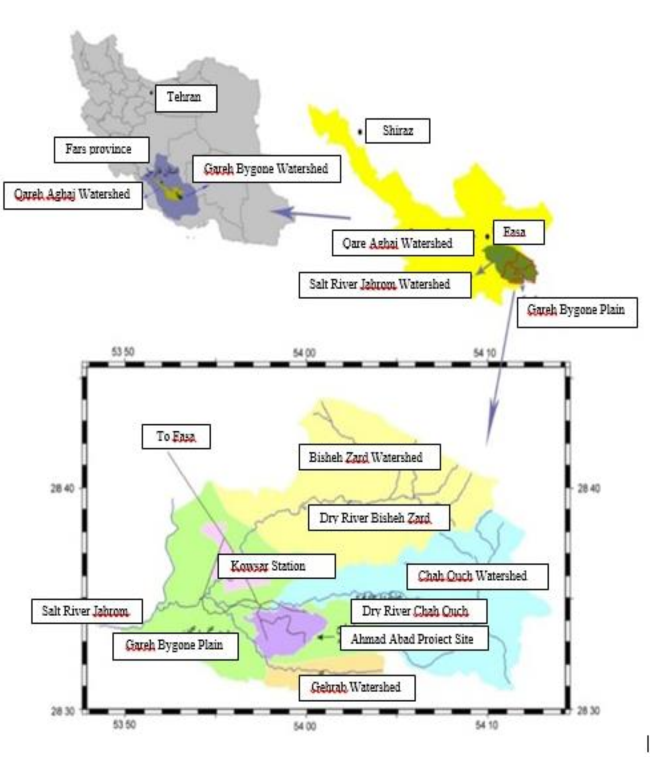
1-Menes

داد که عرصه‌ها با سیل‌گیری بیشتر، پوشش بیشتری تولید کردند.
در ساری غلامی و همکاران (۲۰۲۱)، اثر پخش سیلاب بر شاخص‌های پوشش گیاهی در مراتع پشتکوه کیاسر را بررسی و گزارش کردند که تعداد ۵۳ گونه در منطقه‌ی پخش سیلاب و ۴۳ گونه در قرق مشاهده شد، در حالی که در منطقه‌ی شاهد (بی پخش سیلاب) یا در چرای دام ۲۴ گونه بود. در بین تیره‌های گیاهی بررسی شده، پخش سیلاب موجب افزایش درصد تاج پوشش تیره‌های Poaceae، Brassicaceae و Fabaceae شد. به جز گروه‌های گیاهی هم چون بوته‌ها و کاموفیت‌ها که در پخش سیلاب در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری نشان دادند، مقایسه‌ی سایر گروه‌های گیاهی بیان‌گر افزایش درصد تاج پوشش در پخش سیلاب بود.
پخش سیلاب افزون بر کاهش اثر زیان بار سیلاب‌ها موجب کاهش فرسایش خاک، تقویت سفره‌های آب زیر زمینی، بهبود زمین‌های کشاورزی و احیای پوشش گیاهی می‌شود (رانگو و همکاران ۲۰۰۶، دژاگر و همکاران ۲۰۱۲، برخورداری و همکاران ۲۰۱۴).
پخش سیلاب می‌تواند باعث بهبود برخی شاخص‌های مرتع از جمله افزایش تولید علوفه، تراکم و درصد تاج پوشش گیاهی، بهبود وضعیت مرتع، افزایش تنوع و غنای گونه‌ای و بهبود ترکیب گونه‌های گیاهی شود (کاپون ۲۰۰۵، بیات‌موحد و موسوی ۲۰۰۷، میرجلیلیان و همکاران ۲۰۰۸، عطارد و همکاران ۲۰۱۷، دهمرده‌قالنو و همکاران ۲۰۱۹). تنها در تعداد کمی از پژوهش‌ها مانند برخورداری و همکاران (۲۰۱۴) و جلیلیان و همکاران (۲۰۱۷) اثر منفی پخش سیلاب بر پوشش گیاهی گزارش شده است. اثر منفی پخش سیلاب را می‌توان به اثر رسوب گذاری و انباشته شدن لایه‌های متناوب ذرات لای (سیلت) و رس، کاهش نفوذپذیری خاک (ایجاد تنش خشکی)، خفگی ریشه، مدفون شدن گیاهان جوان، کاهش قدرت زادآوری گیاهان، افزایش گونه‌های مهاجم، فراوانی گونه‌های یک ساله، و افزایش شوری خاک (تنش شوری) نسبت داد (قربانی و همکاران ۲۰۱۵ ؛ درخشی و همکاران ۲۰۱۷).
در استان یزد عطارد و همکاران (۲۰۱۷) اثر پخش سیلاب بر پوشش گیاهی را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که درصد تاج پوشش، تراکم و درصد حضور گونه‌های *Hammada salicornia*, *Seidlitzia rosmarinus* و همچنین درصد کل تاج پوشش، کل تراکم و درصد کل حضور گونه‌ها در عرصه‌ی پخش سیلاب در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت ولی درصد مجموع گیاهان یکساله در عرصه‌ی پخش سیلاب در مقایسه با شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت.
در ایران تاکنون در پژوهش‌هایی اثر پخش سیلاب بر پوشش گیاهی بررسی شده است، ولی پاسخ شاخص‌های پوشش گیاهی در دوره‌های ۵ ساله به بارش‌های نامنظم زمانی، مکانی، کاهش و یا افزایش تعداد سیلاب، مدت زمان سیل و حجم سیل یکسان نبوده است. به‌همین منظور لازم است که پایش‌های پوشش گیاهی در طولانی مدت انجام شود. بنابراین پایش و ارزیابی پایداری زیست بوم و اندازه‌ی دست‌یابی به اهداف عملیاتی پیش‌بینی شده در عملیات پخش سیلاب، می‌تواند گامی مفید برای بهبود روش‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در این زمینه باشد.
هدف پژوهش، بررسی اثر پخش سیلاب بر پوشش گیاهی مرتع و مشخص کردن نوسان‌های اندازه‌ی شاخص‌های گیاهی متناسب با شاخص‌های آب و هوایی در یک دوره‌ی شش ساله از پاییز سال ۱۳۹۵ تا پاییز سال ۱۴۰۱ بود.

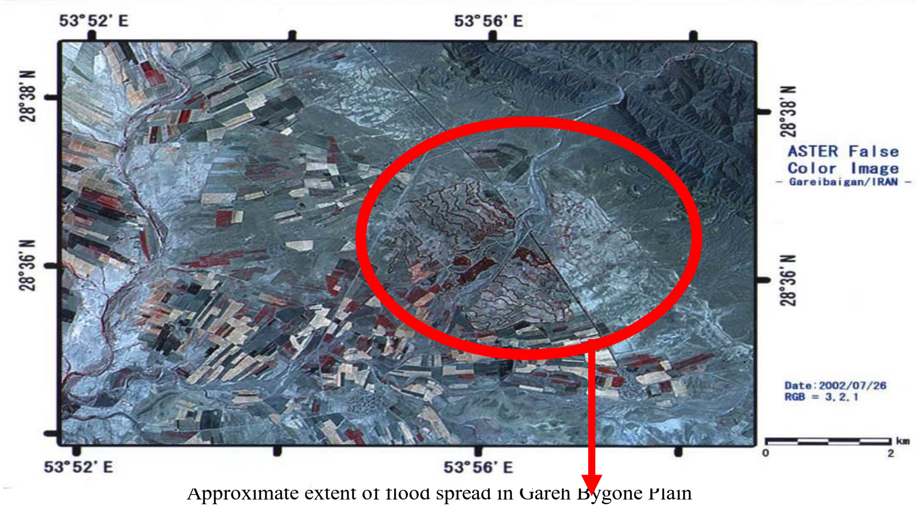
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعه‌شده

ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی آبخوان‌داری کوثر با مساحت ۲۲۰۰ هکتار، میان عرض‌های شمالی ۲۸°۳۵´ تا ۲۸°۴۱´ و طول‌های شرقی ۵۳°۵۳´ تا ۵۳°۵۷´، در دشت گربایگان (در جنوب‌شرق شیراز و فسا)، است. بلندی ایستگاه ۱۱۲۰ تا ۱۱۶۰ متر از سطح دریا است و بر مخروط افکنه‌ای (شن‌زاری) کم ژرفا تا نسبتاً ژرف قرار دارد. پهنه‌ی شن‌زار در سال ۱۳۴۲ نزدیک به ۵۴۰۰ هکتار بود اما مساحت آن در ۱۳۶۸سال حدود ۶۰۰۰ هکتار شده است (پاک‌پرور ۱۹۹۹). (شکل‌های ۱ و ۲).
براساس روش دمارتن اقلیم منطقه، نیمه‌خشک بیابانی است. میانگین بارش از ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ ۲۵۳/۹۸ میلی‌متر برآورد شده است. براساس آمار ۲۴ ساله (۱۳۹۴- ۱۳۷۱) مشخصه‌های اقلیمی ایستگاه آبخوانداری کوثر شامل میانگین بارش سالانه، ۲۱۹ میلی‌متر؛ دمای بیشینه، ۴۳°C؛ دمای کمینه، ۷°C-؛ میانگین دمای سالانه، ۲۰°C؛ میانگین تبخیر سالانه، ۲۵۴۸ میلی‌متر؛ متوسط تعداد روزهای یخبندان، ۲۶ روز در سال است (پاک‌پرور ۱۹۹۹).



شکل ۱- موقعیت دشت گربایگان و ایستگاه آبخوانداری کوثر در ایران، فارس و آبخیز قره‌آغاج.
Figure 1- Location of Gareh Bygone Plain and Aquifer Management Kowsar Station in Iran , Fars and Qare-Aghaj Basin Watershed.



شکل۲- تصویر ماهواره‌ای محدوده‌ی گسترش سیلاب در دشت گربایگان در سال ۲۰۰۲.
Figure 2- Satellite Image of the Flood Spreading Area in Gareh Bygone Plain in Year 2002.

براساس تقسیم‌بندی مبین و ترگوبوف (۱۹۷۰) دشت گربایگان از نظر رویشی در حد فاصل مناطق رویشی ایران-تورانی (منطقه‌ی نیمه بیابانی) و خلیج-عمانی است. تک درختان و درختچه‌های بنه و بادام (در مناطق بالادست آبخیز بیشه‌زرد) پده، گز، دیوخار، پرند، رملک (در کناره‌ی مسیل ها)، و درمنه، کهورک، اسفناج وحشی، گون، گندمیان و بقولات یک‌ساله و چندساله (در دشت)، مهم‌ترین گونه‌های گیاهی منطقه می‌باشند (مصباح ۱۳۸۷).

روش پژوهش

برای پایش و مقایسه‌ی نوسان شاخص‌های گیاهی در ایستگاه آبخوانداری کوثر، دو شبکه (نماینده‌ی عرصه‌ی با پخش سیلاب) به نام‌های بیشه‌زرد یک و بیشه‌زرد چهار

و پهنه‌ای با مساحت ۵ هکتار در خارج شبکه‌ها و در مجاور آن‌ها به‌عنوان شاهد (نماینده‌ی عرصه‌ی بی پخش سیلاب) انتخاب شد.

زمان و روش نمونه‌برداری

به‌مدت شش سال (۱۴۰۱-۱۳۹۵) در نیمه‌ی دوم اردیبهشت هر سال، ۱۰ نوار خطی اندازه‌گیری[2] با طول ۱۵۰ متر و ۱۰ قطعه‌ی نمونه (Plot) یک متر مربعی با شیوه‌ی تصادفی- نظام‌مند (سیستماتیک)[3] در هر نوارهای شبکه‌ها و عرصه‌ی شاهد مستقر شد. به‌طوری که جمعا در هر سال ۱۰۰ قطعه نمونه (۶۰ قطعه نمونه در شبکه‌ی بیشه‌زرد یک، ۳۰ قطعه نمونه در شبکه‌ی بیشه‌زرد چهار و ۱۰ قطعه نمونه در قطعه‌ی شاهد بدون پخش سیلاب)، از شاخص‌های گیاهی (نام گونه، درصد تاج پوشش، تعداد پایه در متر مربع، شکل رویشی و زی‌توده) و پوشش سطح خاک (درصد سنگ و سنگ‌ریزه، درصد لاشبرگ و درصد خاک لخت) اندازه‌گیری شد.

برآورد تولید گیاهی و ظرفیت چرایی

گیاهان قابل چرا در قطعه‌ی نمونه به تفکیک گونه، درجه‌ی خوش‌خوراکی و شکل رویشی از محل یقه قطع و وزن شدند. گیاهان قطع شده پس از نشانه‌گذاری برای یک هفته در پوشش کاغذی نگهداری و هر دو روز یک‌بار وزن شدند (مجموعاً سه بار). به این ترتیب وزن خشک علوفه‌ی تولیدی تعیین شد. از آنجا که ضریب برداشت مجاز برای هر گونه مشخص نبود براساس منابع موجود از ضریب ۵۰٪ برای همه‌ی گونه‌ها استفاده شد. پس از محاسبه‌ی اندازه‌ی علوفه‌ی قابل استفاده، بر مبنای نیاز روزانه ۲ کیلوگرم علوفه‌ی خشک برای هر واحد دامی، ظرفیت چرایی در هر هکتار برای یک فصل چرای ۴ ماهه برآورد شد.

تعیین وضعیت مرتع

وضعیت مرتع براساس روش شش عاملی تعدیل‌شده (مصداقی ۲۰۰۵) و با در نظر گرفتن جمع امتیازهای عامل‌هایی چون پوشش تاجی، ترکیب پوشش گیاهی، حفاظت خاک، تولید علوفه، تکثیر گیاهان مرتعی و تکرار لاشبرگ، تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای خلاصه‌سازی و طبقه‌بندی داده‌های جمع‌آوری شده از نرم‌افزارExcel و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. برای تجزیه واریانس تیمارهای مختلف مرتع در سال‌های بررسی (شبکه‌ها و نوارهای پخش سیلاب و شاهد) از طرح کرت‌های دو بار خرد شده در زمان و مکان در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. برای تعیین مدل پیش‌بینی تولید و پوشش تاجی گیاهان از ضریب‌های همبستگی پیرسون و وایازی گام‌به‌گام استفاده شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج

تجزیه‌ی واریانس شاخص‌های گیاهان مرتعی

الف-شاخص درصد کل تاج پوشش

بررسی نتایج درصد تاج پوشش گیاهان نشان داد که تفاوت میان سال‌های بررسی، میان شبکه‌های پخش سیلاب، میان سال در شبکه و میان نوار در شبکه در سطح ۱٪معنی‌دار بود ولی میان نوارها، میان سال در نوار و میان سال در نوار در شبکه، تفاوت معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه‌ی واریانس شاخص‌های گیاهان مرتعی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-تجزیه‌ی واریانس درصد تاج پوشش گیاهان میان سال‌ها، شبکه‌ها، نوارها و شاهد در منطقه‌ی بررسی‌شده.

Table 1- Variance Analysis Percentage Canopy Cover of Plants between years, Networks, Strips and Control at the Studied Area.

source of variables	DF	sum of squares	mean squares	F	significant level
year	6	1257.676	209.613	80.87	<0.0001**
year error	63	163.285	2.592		
flood spreading network	1	90.099	90.099	44.61	<0.0001**
year in network	6	109.331	18.221	9.02	<0.0001**
network error	63	127.226	2.019		
strip	2	2.261	1.130	0.41	0.6623 ns
year in strip	12	14.485	1.207	0.44	0.9459 ns
strip in network	2	60.057	30.028	10.96	<0.0001**
year in strip in network	12	50.758	4.214	1.54	0.1108 ns
error	252	690.518	2.740		

ns: non-significant — معنی‌دار نیست.

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

2 -Transect

3 -Random-Systematic

بررسی نتایج مقایسه‌ی میانگین‌های درصد تاج پوشش گیاهان نشان داد که در سال ۱۳۹۵ درصد پوشش تاجی گیاهان میان نوار یک بیشه‌زرد یک با نوار یک بیشه‌زرد چهار و هم‌چنین با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۶ میان نوار یک و سه بیشه‌زرد یک با شاهد در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۷ میان نوارهای یک تا سه بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۸ میان نوارهای یک بیشه‌زرد یک و نوار سه بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۹ میان نوارهای بیشه‌زرد یک و نوارهای بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۴۰۰ میان نوارهای بیشه‌زرد چهار با نوارهای بیشه‌زرد یک و همچنین با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۴۰۱ میان نوارهای بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. ولی میان نوارهای شبکه‌ی بیشه‌زرد یک با شاهد تفاوت معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه‌ی میانگین درصد پوشش تاجی گیاهان در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین درصد پوشش تاجی گیاهان در سال‌ها، شبکه‌ها، نوارها و شاهد در منطقه‌ی بررسی شده.

Table 2- Comparisons of Mean Percentage Canopy Cover of Plants between Years, Networks, Strips and Control at the Studied Area.

The name of flood spreading network	flood spreading strips	years of study						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Bishehzard 1	Strip 1	36.62 a	41.64 a	12.35 ab	52.47 a	79.11 a	8.47 a	22.95 cd
	Strip 2	28.28 ab	30.01 ab	8.55 bc	28.28 bc	52.40 bc	7.99 a	19.65 d
	Strip 3	30.69 ab	40.93 a	12.03 ab	37.40 abc	35.03 cd	9.63 a	22.80 cd
Bishehzard 4	Strip 1	20.38 b	20.84 b	1.20 d	29.30 bc	48.40 bcd	1.83 b	26.50 bc
	Strip 2	26.48 ab	19.55 b	4.10 cd	41.40 abc	62.85 ab	3.10 b	32.30 ab
	Strip 3	32.46 ab	22.43 b	1.28 d	46.40 ab	68.50 ab	2.45 b	35.40 a
control		21.05 b	21.23 b	15.26 a	22.60 c	28.42 d	9.18 b	18.17 d

ب-تولید گیاهان مرتعی

بررسی نتایج تجزیه‌ی واریانس تولید گیاهان مرتعی نشان داد که تفاوت تولید گیاهان میان سال‌های بررسی، میان شبکه‌های پخش سیلاب، و میان سال در شبکه در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی میان نوارها، میان سال در نوار، نوار در شبکه و میان نوار در سال در شبکه تفاوت معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه‌ی واریانس تولید گیاهان مرتعی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳–تجزیه‌ی واریانس تولید گیاهان میان سال‌ها، شبکه‌ها، نوارها و شاهد در منطقه‌ی بررسی‌شده.

Table 3- Variance Analysis Production of Plants between years, Networks, Strips and Control at the Studied Area

source of variables	DF	sum of squares	mean squares	F	significant level
year	6	1731.570	288.595	61.17	<0.0001**
year error	63	297.228	4.717		
flood spreading network	1	364.001	364.001	112.24	<0.0001**
year in network	6	228.180	38.030	11.73	<0.0001**
network error	63	204.312	3.243		
strip	2	27.415	13.707	2.77	0.0647 ns
year in strip	12	11.543	0.961	0.19	0.9986 ns
strip in network	2	27.637	13.818	2.79	0.0633 ns
year in strip in network	12	55.051	4.587	0.93	0.5211 ns
error	252	1248.109	4.952		

ns: non-significant — معنی‌دار نیست.

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

بررسی نتایج مقایسه‌ی میانگین‌های تولید گیاهان مرتعی نشان داد که در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ تولید گیاهان مرتعی میان نوارهای بیشه‌زرد یک با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۷ فقط میان نوار سه بیشه‌زرد یک و نوارهای بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۸ فقط میان نوار یک و سه بیشه‌زرد یک و نوارهای دو و سه بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۹ میان نوارهای یک و سه بیشه‌زرد یک و نوارهای بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۴۰۰ میان نوار سه بیشه‌زرد یک و نوارهای بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۴۰۱ میان نوارهای یک و سه بیشه‌زرد یک و نوارهای بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. نتایج بررسی مقایسه‌ی میانگین تولید گیاهان مرتعی در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴–مقایسه میانگین تولید گیاهان در سال‌ها، شبکه‌ها، نوارها و شاهد در منطقه‌ی بررسی‌شده.

Table 4- Comparisons of Mean Production of Plants between Years, Networks, Strips and Control at the Studied Area.

The name of flood spreading network	flood spreading strips	years of study						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Strip 1	62.50 ab	62.04 bc	22.21 ab	80.02 a	92.24 a	15.63 ab	36.55 b
Bishehzard 1	Strip 2	57.31 abc	66.48 b	22.63 ab	57.35 abc	85.36 a	15.09 ab	34.07 bc
	Strip 3	66.33 a	98.84 a	31.21 a	76.62 a	66.46 ab	21.88 a	38.67 ab
	Strip 1	28.83 d	29.20 d	1.72 d	43.03 bc	69.17 a	2.69 c	37.58 b
Bishehzard 4	Strip 2	38.16 cd	28.64 d	5.77 cd	60.45 ab	90.94 a	4.53 c	45.52 ab
	Strip 3	41.63 bcd	31.16 d	1.95 d	30.41 ab	95.81 a	3.04 c	50.49 a
control		24.29 d	31.60 cd	17.15 bc	22.60 c	36.36 b	13.32 b	23.35 c

ج-تراکم (تعداد پایه‌های گیاهی قابل شمارش) کل گیاهان

بررسی نتایج تجزیه‌ی واریانس تراکم گیاهان نشان داد که تفاوت تراکم گیاهان میان سال‌های بررسی و میان شبکه‌های پخش سیلاب در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی میان بقیه منابع تغییر تفاوت معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه‌ی واریانس تراکم گیاهان در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- تجزیه‌ی واریانس تراکم گیاهان میان سال‌ها، شبکه‌ها، نوارها و شاهد در منطقه‌ی بررسی‌شده.

Table 5- Variance Analysis Density of Plants between Years, Networks, Strips and Control at the Studied Area.

source of variables	DF	sum of squares	mean squares	F	significant level
year	6	47.667	7.944	9.81	<0.0001**
year error	63	51.046	0.810		
water spreading network	1	149.550	149.550	317.34	<0.0001**
year in network	6	1.532	0.255	0.54	0.7742 ns
network error	63	29.689	0.471		
strip	2	1.397	0.698	1.78	0.1711 ns
year in strip	12	1.835	0.152	0.39	0.9668 ns
strip in network	2	0.384	0.192	0.49	0.6136 ns
year in strip in network	12	1.489	0.124	0.32	0.9863 ns
error	252	99.0834	0.393		

ns: non-significant — معنی‌دار نیست.

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

بررسی نتایج مقایسه‌ی میانگین‌های تراکم گیاهان نشان داد که در سال ۱۳۹۵ تراکم گیاهان میان نوارهای یک و دو بیشه‌زرد یک با نوارهای بیشه‌زرد چهار و شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۶ میان نوارهای بیشه‌زرد یک با نوارهای بیشه‌زرد چهار و شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۷ فقط میان نوارهای بیشه‌زرد یک و نوارهای یک و دو بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۸ و سال ۱۳۹۹ میان نوارهای بیشه‌زرد یک با نوارهای بیشه‌زرد چهار و شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۴۰۰ میان نوارهای بیشه‌زرد یک و نوارهای بیش زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. در سال ۱۴۰۱ میان نوارهای بیشه‌زرد یک و نوار دو بیشه‌زرد چهار با شاهد در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود. نتایج مقایسه‌ی میانگین‌های تراکم گیاهان در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- مقایسه‌ی میانگین تراکم گیاهان در سال‌ها، شبکه‌ها، نوارها و شاهد در منطقه‌ی بررسی‌شده.

Table 6- Comparisons of Mean for Density of Plants between Years, Networks, Strips and Control at the Studied Area.

The name of flood spreading network	flood spreading strips	years of study						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Strip 1	4.80 a	4.85 a	2.40 a	5.40 a	7.05 a	2.00 a	4.40 a
Bishehzard 1	Strip 2	4.65 a	4.70 a	2.45 a	4.95 a	6.20 a	2.00 a	4.25 a
	Strip 3	4.15 ab	4.85 a	2.75 a	4.90 a	5.55 ab	2.30 a	3.75 a
	Strip 1	1.20 c	1.10 b	0.00 c	1.00 b	2.50 c	0.00 c	1.00 bc
Bishehzard 4	Strip 2	0.70 c	1.20 b	0.00 c	1.10 b	2.60 c	0.00 c	0.50 c
	Strip 3	1.50 c	0.70 b	0.60 bc	1.70 b	3.10 bc	0.00 c	1.10 bc
control		2.20 bc	2.10 b	1.20 b	2.40 b	2.30 c	1.00 b	2.00 b

ج- وضعیت مرتع

با استفاده از روش ۶ عاملی تعدیل‌شده وضعیت مرتع در شبکه‌های پخش سیلاب در سال‌های مرطوب، خوب و در سال‌های خشک، متوسط ارزیابی شد، در حالی که در عرصه‌ی شاهد (بی پخش سیلاب) در سال‌های مرطوب، فقیر تا متوسط و در سال‌های خشک، خیلی فقیر تا غیر قابل استفاده برای چرا ارزیابی شد (جدول ۷). وضعیت شبکه‌های پخش سیلاب با چهار معیار تغییر اندازه‌ی بارش سالانه، تعداد ماه‌های بارانی، پراکنش آن و تعداد و حجم سیل مؤثر در فصل رشد گیاهان، هماهنگی داشت.

جدول ۷ – مقایسه‌ی مجموع امتیازهای عامل‌های وضعیت مرتع (اعداد داخل پرانتز) در شبکه‌های پخش سیلاب و شاهد در سال‌های بررسی.

Table 7- Comparison of Rangeland Condition Factors the total Scores (Numbers in Parentheses) in Flood Spreading Networks and Control in the Years of Study.

years of study	range condition (total scores of 6 factors) in networks and control		
	BishehZard 1 network	BishehZard 4 network	control
2016	good (74)	good (75)	Poor (42)
2017	good (81)	fair (63)	Poor (39)
2018	fair (60)	very poor (26)	non-suitable for grazing (9)
2019	good (83)	good (82)	fair (55)
2020	good (79)	good (86)	fair (60)
2021	fair (65)	very poor (26)	very poor (24)
2022	fair (62)	good (75)	Poor (35)

۲- همبستگی میان شـــاخص‌های گیاهی با متغیرهای آب و هوایی و سیل

بـــرای تعیین همبســـتگی از آمار شـــاخص‌های آب و هوایی دو ســـال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ که از سال‌هایی بودند که انـــدازه‌ی بارش بالای میانگیـــن طولانی-مدت بود، استفاده شد. ضریب‌های همبستگی در جدول ۸ نشان داده شده است. با توجه به این جدول نتایج زیر به‌دست آمد:

- میان تولید گیاهان با پوشش تاجی گیاهان، اندازه‌ی بارش سالانه، اندازه‌ی بارش در زمان سیل، رخداد تعداد سیل، مدت زمان رخداد سیلاب، اندازه‌ی بارش پاییز و زمســـتان و اندازه‌ی بارش مفید (دوره‌ی رشد گیاهی) در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار به‌دست آمد.
- میان پوشـــش تاجـــی گیاهان با رخداد تعداد ســـیل و مـــدت زمان رخداد ســـیلاب در ســـطح یک درصد همبســـتگی معنی دار به‌دست آمد. هم‌چنین میان تاج پوشـــش گیاهان با اندازه‌ی بارش سالانه، اندازه‌ی بارش در زمان سیل، اندازه‌ی بارش پاییز و زمستان و اندازه‌ی بارش مفید (دوره‌ی رشـــد گیاهی) در سطح پنج درصد همبستگی معنی‌دار به‌دست آمد.
- میان اندازه‌ی بارش ســـالانه با اندازه‌ی بارش در زمان سیل، رخداد تعداد ســـیل، مدت زمان رخداد سیلاب، اندازه‌ی بارش پاییز و زمســـتان و اندازه‌ی بارش مفید (دوره‌ی رشـــد گیاهی) در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار به‌دست آمد.
- میـــان اندازه‌ی بارش در زمان ســـیل با رخداد تعداد ســـیل و مدت زمان رخداد سیلاب در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار به‌دست آمد.
- میان رخداد تعداد سیل با مدت زمان رخداد سیلاب، اندازه‌ی بارش مفید (دوره‌ی رشد گیاهی) در سطح یک درصد همبســـتگی معنی دار به دســـت آمد. هم‌چنین میان رخداد تعداد سیل با اندازه‌ی بارش پاییز و زمستان در سطح پنج درصد همبستگی معنی‌دار به‌دست آمد.
- میـــان اندازه‌ی بارش مفید (دوره‌ی رشـــد گیاهی) با اندازه‌ی بارش پاییز و زمســـتان در ســـطح یک درصد همبستگی معنی‌دار به‌دست آمد.

جدول ۸- همبستگی میان تولید با تاج پوشش گیاهان و با شاخص‌های اقلیمی و سیل.

Table 8- Correlation between Production with Plants Canopy Cover and with Climate and Flood Indices.

variables	production	canopy cover	annual rainfall (mm)	rainfall during floods	number of floods	flood duration (hours)	autumn and winter rainfall	rainfall (plant growth period)	maximum temperature mean	minimum temperature mean	annual temperature mean
canopy cover	0.86 **										
annual rainfall (mm)	0.92 **	0.71 *									
rainfall during floods	0.84 **	0.71 *	0.81 **								
number of floods	0.96 **	0.78 **	0.95 **	0.78 **							
flood duration (hours)	0.96 **	0.80 **	0.86 **	0.80 **	0.92 **						
autumn and winter rainfall	0.94 **	0.68 *	0.90 **	0.7 ns	0.93 **	0.94 **					
rainfall (plant growth period)	0.93 **	0.67 *	0.88 **	0.69 *	0.92 **	0.91 **	0.97 **				
maximum temperature mean	-0.46 ns	-0.30 ns	-0.49 ns	-0.53 ns	-0.49 ns	-0.45 ns	-0.58 ns	-0.46 ns			
minimum temperature mean	-0.04 ns	-0.11 ns	0.12 ns	-0.41 ns	0.12 ns	-0.07 ns	-0.00 ns	0.03 ns	0.30 ns		
annual temperature mean	0.28 ns	0.34 ns	0.18 ns	0.12 ns	0.32 ns	0.37 ns	0.18 ns	0.15 ns	0.23 ns	0.44 ns	

ns: non-significant
*: at the level significant 5%
**: at the level significant 1%

معنی‌دار نیست.
در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.
در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

وایازی گام‌به‌گام

الف-پیش‌بینی مدل برآورد تولید گیاهان در ترسالی‌ها
برای پیش‌بینی این مدل از آمار شاخص‌های آب و هوایی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ که از سال‌هایی بودند که اندازه‌ی بارش بالای میانگین طولانی مدت بود، استفاده شد. با توجه به نتایج جدول ۹ شاخص تولید گیاهان با اندازه‌ی بارش سالانه، میانگین دمای حداقل، اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان و میانگین دمای سالانه همبستگی معنی‌داری داشت. برای پیش‌بینی برآورد اندازه‌ی تولید گیاهان با استفاده از شاخص‌های آب و هوایی مدل زیر به‌دست آمد.

(اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان) ۶/۴+ (میانگین دمای کمینه) ۱۱/۶- (اندازه‌ی بارش سالانه) ۱۱/۶+ ۲۴۹/۴- = برآورد اندازه‌ی تولید گیاهان
(میانگین دمای سالانه) ۲۴/۸-

جدول ۹- پیش بینی مدل وایازی گام‌به‌گام برای برآورد تولید گیاهان با شاخص‌های آب و هوایی.

Table 9- Prediction of Step by Step Regression Model to Estimate the Production of Plants with Climatic Indices.

characteristics	Step by step regression levels			
	1	2	3	4
constant number	-954.7	-704.3	-691.1	-249.4
annual rainfall	15.9**	15.3**	13.3**	11.6**
minimum temperature mean		-20.9	-27.1	-11.6
rainfall (plant growth period)			3.9	6.4*
annual temperature mean				-24.8 *
R-Sq (adj)	92.42**	93.89**	95.12**	98.06**

ns: non-significant   معنی‌دار نیست.
**: at the level significant 1%   در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

نتایج این بررسی نشان داد که در مدل پیش‌بینی تولید گیاهان، متغیرهای مستقل (شاخص‌های آب و هوایی) اندازه‌ی بارش سالانه با ضریب همبستگی ۰/۳۴ و میانگین دمای کمینه با ضریب همبستگی ۰/۲۶، اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان با ضریب همبستگی ۰/۱۵، میانگین دمای سالانه با ضریب همبستگی ۰/۱۱ و مجموع آن‌ها با ضریب همبستگی ۰/۸۶ سهم اصلی و تعیین کننده در برآورد اندازه‌ی متغیر وابسته داشتند. با اندازه‌گیری این شاخص‌ها در ترسالی‌ها می‌توان اندازه‌ی تولید گیاهی را تعیین کرد و در برنامه‌ریزی و مدیریت چرا در این‌گونه مناطق از آن استفاده کرد.

ب-پیش‌بینی مدل برآورد تاج پوشش گیاهان در ترسالی‌ها

برای پیش‌بینی این مدل از آمار شاخص‌های آب و هوایی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ که از سال‌هایی بودند که اندازه‌ی بارش بالای میانگین طولانی مدت بود، استفاده شد. براساس نتایج جدول ۱۰ شاخص تاج پوشش گیاهان با اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان همبستگی معنی‌دار داشت. بنابراین برای پیش‌بینی اندازه‌ی درصد تاج پوشش گیاهی با استفاده از این شاخص مدل زیر به‌دست آمد.

(اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاه) ۳۷/۷۱+۰/۱۵- = برآورد اندازه‌ی تاج پوشش گیاهان

جدول ۱۰- پیش بینی مدل وایازی گام‌به‌گام برای برآورد تاج پوشش گیاهان با شاخص‌های اقلیمی.

Table 10- Prediction of Step-by-Step Regression Model to Estimate the Canopy Cover of Plants with Climatic Indices.

characteristics	Step by step regression levels
	1
constant number	-37.71
rainfall (plant growth period)	0.15 *
R-Sq (adj)	82.78*

*: at the level significant 5%   در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

نتایج این بررسی نشان داد که در مدل پیش‌بینی درصد تاج پوشش گیاهان، متغیر مستقل اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان با ضریب همبستگی ۰/۸۷ سهم اصلی و تعیین کننده در برآورد اندازه‌ی متغیر وابسته داشتند. با

اندازه‌گیری این شـاخص در ترسالی‌ها می‌توان اندازه‌ی تاج پوشش گیاهی را تعیین کرد و در برنامه‌ریزی و مدیریت چرا در این‌گونه مناطق از آن استفاده کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

درصد تاج پوشش گیاهی

نتایج این پژوهش نشان داد که درصد تاج پوشش، لاشبرگ و تولید گیاهی عرصه‌های آبگیری شده (شبکه‌ها) در مقایسه با عرصه‌های آبگیری نشده (شاهد) افزایش و درصد خاک لخت، کاهش یافته است. وضعیت مرتع در شبکه‌های پخش سیلاب در سال‌های مرطوب، خوب و در سال‌های خشک، متوسط ارزیابی شد. در حالی‌که در عرصه‌ی شاهد (بی پخش سیلاب) در سال‌های مرطوب، فقیر تا متوسط و در سال‌های خشک، خیلی فقیر تا غیر قابل استفاده برای چرا ارزیابی شد. براساس آماربرداری سال ۱۳۹۵، درصد تاج پوشش گیاهی شبکه‌های بیشه‌زرد یک، بیشه‌زرد چهار و شاهد به‌ترتیب ۳۱/۸۶، ۲۶/۴۴ و ۲۱/۰۵ بود. تفاوت تاج پوشش گیاهی بیشه‌زرد یک با بیشه‌زرد چهار و هم‌چنین با شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود. در مجموع می‌توان گفت که درصد تاج پوشش گیاهی شبکه‌ی بیشه‌زرد یک در سال‌های مرطوب (سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، ۱۳۹۶-۱۳۹۵، ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) در مقایسه با شبکه‌ی بیشه‌زرد چهار و شاهد از نظر آماری معنی‌دار است. در سال‌های خشک (سال‌های آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰) این درصدها در شاهد در مقایسه با دو شبکه‌ی بیشه‌زرد یک و چهار بیشتر است. به‌طور کلی تغییرات در اندازه‌ی شاخص تاج پوشش گیاهی با تغییرات اندازه‌ی بارش سالانه، تعداد ماه‌های بارانی، پراکنش آن و تعداد و حجم سیلاب مؤثر در فصل رشد گیاهان، هماهنگی دارد. این نتایج با نتایج میرجلیلی و همکاران (۲۰۱۳) مبنی بر آثار خشک‌سالی و ترسالی بر درصد تاج پوشش گیاهی در عرصه‌های پخش سیلاب همخوانی دارد.

تولید گیاهی

براساس آماربرداری سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱، میانگین شش ساله‌ی تولید علوفه خشک شاهد، بیشه زرد یک و بیشه زرد چهار به‌ترتیب ۲۵۲/۲۵، ۵۲۸/۳۱ و ۳۶۲/۱۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. تولید شبکه‌های پخش سیلاب ۱/۴۳ تا دو برابر شاهد بود. از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ تفاوت نوسان‌های شاخص تولید گیاهان در شبکه‌های بیشه‌زرد یک و بیشه‌زرد چهار در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود. این نتایج با نتایج احسانی و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر همبستگی شاخص آب و هوایی اندازه‌ی بارش در فصل رویش گیاهی روی تولید گیاهان هماهنگی دارد.

تراکم (تعداد پایه‌های قابل شمارش گیاهی در متر مربع) براساس آماربرداری سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱، میانگین شش ساله‌ی تراکم گیاهی در قطعه‌ی شاهد، در بیشه زرد یک و بیشه زرد چهار به ترتیب ۱/۶۸، ۳/۶۹ و ۰/۸۹ پایه‌ی گیاهی در متر مربع برآورد شد. تراکم گیاهی در شبکه‌ی بیشه‌زرد یک، ۲/۱۹ برابر شاهد و ۴/۱۴ برابر بیشه‌زرد چهار بود. علت کاهش تراکم گیاهی در شبکه‌ی بیشه‌زرد چهار در مقایسه با شاهد این است که زیر اشکوب درختان کاشته شده اکالیپتوس در این شبکه بیشتر گندمیان و پهن برگان یک‌ساله بودند و همچنین پایه‌های آنها قابل شمارش نبودند (این گروه‌های یک‌ساله‌ی گیاهی پایه‌های مستقلی نداشته و بیشتر به‌شکل توده به‌هم فشرده بودند و قابل تفکیک از هم نبودند). بنابراین از نظر محاسبه تراکم گیاهی قابل بررسی نبودند. تراکم گیاهی در سال ۱۳۹۹ در مقایسه با سال‌های دیگر که شرایط آب و هوایی (اندازه‌ی بارش سالانه، تعداد سیل، مدت سیل و پراکنش بارش در طول فصل رشد گیاهی) مناسب بود، در دو شبکه‌ی بیشه‌زرد یک و بیشه‌زرد چهار و همچنین قطعه‌ی شاهد، بیشترین اندازه را نشان داد.

همبستگی میان تاج پوشش با تولید مرتع

نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که میان درصد تاج پوشش کل مرتع با تولید کل مرتع در سطح یک درصد همبستگی مثبت و معنی دار بود. به‌طور کلی این نتایج نشان‌دهنده‌ی این است که متناسب با تغییر شرایط اقلیمی (به‌ویژه بارش و دما) میان درصد تاج پوشش و تولید مرتع همبستگی معنی‌دار وجود دارد. یعنی تغییرات به‌وجود آمده در یکی از سنجه‌های تاج پوشش گیاهی باعث تغییر در سنجه‌های دیگر و در نهایت تولید گیاهان مرتعی می‌شود. این نتایج با نتایج ارزانی (۲۰۰۷) مبنی بر همبستگی قوی در سطح یک درصد میان درصد تاج پوشش گیاهی و تولید علوفه گونه‌ها همخوانی دارد.

وایازی گام‌به‌گام میان تولید و تاج پوشش گیاهی با شاخص‌های اقلیمی

نتایج وایازی گام‌به‌گام بیان‌گر آن بود که در ایستگاه آبخوانداری کوثر دو مدل پیشنهادی با همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد ارائه شدند. در مدل پیش‌بینی تولید گیاهان، سنجه‌های اقلیمی

(اندازه‌ی بارش سالانه و میانگین دمای کمینه، اندازه‌ی بارش در فصل رشـد گیاهان و میانگین دمای سالانه) و در مدل پیش‌بینی درصد تاج پوشــش گیاهان، شاخص آب و هوایی (اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان) نقش اصلی و تعیین کننده داشــتند. با در دسـت داشتن این ســنجه‌ها و عدد ثابت و ضریب‌های مربوطه در مدل‌ها، می‌تـوان تولید و هم‌چنین درصد تاج پوشــش مرتع را برآورد کرد. این نتایج با نتایج سوری و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر اینکه در مراتع اسـتان فارس اندازه‌ی بارندگی ســالانه، بارندگی فصل رویش گیاهان و میانگین دمای کمینه از ســنجه‌های اقلیمی مؤثر در تولید علوفه بوده است و همبستگی مثبت و معنی‌دار با تولید علوفه نشان داده است، مطابقت دارد.
براســاس نتایج این پژوهــش اندازه‌ی تولیــد گیاهان در ســال‌های بررســی (ترســالی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹) و (خشک‌ســالی ۱۳۹۵، ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) بســیار متفاوت بود. یعنی در اثر خشک‌ســالی‌ها، تولید گیاهــان کاهش یافت و در ترســالی‌ها تولیــد گیاهان افزایش یافت. هم‌چنین اندازه‌ی تولید گندمیان یک‌ساله، تولید پهن برگان یک‌ســاله، و تولید شــبه گندمیان در سال‌های بررسی متفاوت بود. این نتایج بیان‌گر آن است که تولید این‌گونه شــکل‌های رویشی بیشتر تحت تأثیر خشک‌ســالی است و به تغییرها و نوسان‌های اقلیمی در مقایســه با بقیه شکل‌های رویشــی دیگر واکنش نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج حیدری و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر اینکه خشک‌سالی روی پوشش گیاهی، ترکیب گیاهی و وضعیت مرتع در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار داشته اســت، مطابقت دارد. همچنین با نتایج زارع‌کیا و همکاران (۲۰۱۲)، عبداللهی و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر همبســتگی مثبت و معنی‌دار میــان تولید گیاهان با اندازه‌ی بارندگی هم‌راســتا اســت. همچنیــن با نتایج میرجلیلی و همــکاران (۲۰۱۳) مبنی بر اینکه اندازه‌ی تولید و تاج پوشــش گیاهان در تیمارهای خشک‌سالی و ترسالی در سطح یک درصد معنی‌دار است، همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش در شــش ســال بررسی نشان داد که اندازه‌ی شاخص‌های گیاهی ارزیابی‌شده میان سال‌های بررسی، میان شبکه‌ها و میان نوارهای پخش سیلاب در مقایسه با شاهد در سطح یک درصد و پنج درصد تفاوت معنی‌دار داشــتند. اندازه‌ی درصد تاج پوشش گیاهی در طــول دوره‌ی آماربرداری از ۸/۶۹٪ در ســال ۱۴۰۰ تا ۵۵/۵۱٪ در ســال ۱۳۹۹ و انــدازه‌ی تولید از ۱۷۵/۳۲ کیلوگرم در هکتار در ســال ۱۴۰۰ تا ۸۱۳/۵۵ کیلوگرم در هکتار در ســال ۱۳۹۹ و اندازه‌ی تراکم از دو پایه‌ی گیاهی در متر مربع در ســال ۱۴۰۰ تــا ۷/۰۵ پایه در متر مربع در سال ۱۳۹۹ نوســان داشت که در مقایسه با شــاهد این تفاوت‌ها معنی‌دار بود. نتایج همبســتگی میان شاخص‌های گیاهی ارزیابی‌شده با شاخص‌های آب و هوایی و ســیل نشــان داد که میان تولید کل گیاهان با تاج پوشــش گیاهان، اندازه‌ی بارش ســالانه، اندازه‌ی بارش در زمان ســیل، رخداد تعداد ســیل، مدت زمان رخداد سیلاب، اندازه‌ی بارش پاییز و زمستان و اندازه‌ی بارش مفید (دوره‌ی رشــد گیاهی) در سطح یک درصد همبستگی معنی دار وجود داشت. براساس برآورد مدل پیش‌بینی با استفاده از وایازی گام‌به‌گام مشخص شد که شاخص‌های اقلیمی اندازه‌ی بارش سالانه، میانگین دمای کمینــه، اندازه‌ی بارش در فصل رویش گیاهی، میانگین دمای ســالانه در شــاخص‌های گیاهی برآورد اندازه‌ی تولید و درصد تاج پوشش گیاهی مرتع بیشترین تأثیر را داشتند. از ۱۵۴ گونه‌ی موجود در مراتع سیلابی فقط ۲۶ گونه در قطعه‌ی شاهد دیده شد. بنابراین، پوشش گیاهی عرصه ی پخش ســیلاب تنوع و غنای چشمگیری دارد. براســاس مشاهده‌ها در زمان بررســی مشخص شد که گونه‌هــای بوتــه‌ای (*Astragalus squarrosus*، *Salsola rigida* و *Artemisia sieberi*) حالــت غرقابی در عرصه‌ی پخش ســیلاب را نمی‌توانند تحمل کنند و از چراگاه‌های ســیلابی حذف شــدند. براساس نتایج تحلیل همبســتگی، میان درصد تاج پوشــش با تولید گیاهان مرتعی در ســطح یک درصد همبســتگی مثبت و معنی‌دار (۰/۸۶) به‌دســت آمــد. نتایج وایازی گام‌به‌گام نشان داد که در مدل پیش‌بینی تولید گیاهان، متغیرهای مستقل (شــاخص‌های آب و هوایی) اندازه‌ی بارش سالیانه با ضریب همبستگی ۰/۳۴، میانگین دمای کمینه با ضریب همبســتگی ۰/۲۶، انــدازه‌ی بارش در فصل رشــد گیاهان با ضریب همبستگی ۰/۱۵، میانگین دمای سالانه با ضریب همبستگی ۰/۱۱ و مجموع آن‌ها با ضریب همبســتگی ۰/۸۶ و در مدل پیش‌بینی درصد تاج پوشــش گیاهان، متغیر مســتقل اندازه‌ی بارش در فصل رشد گیاهان با ضریب همبستگی ۰/۸۷ سهم اصلی و تعیین کننده در برآورد اندازه‌ی متغیر وابسته داشتند. در نهایت با توجه بــه اینکه آب یکی از عامل‌های اصلی محدود کننده رشــد و نمو گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشــک اســت، لزوم به‌کارگیری روش‌های پخش سیلاب به‌دلیل سادگی عمل، هزینه‌ی کم در مقایسه با دیگر عملیات اصلاح این زمین‌ها، ســازگاری با طبیعت، تولید علوفه ارزان، بهبود زیســتبوم مناطق خشــک و نیمه‌خشک و افزون بر آن کاهش اثرهای زیان‌بار سیل، اجتناب‌ناپذیر است.

فهرست منابع

Abdollahi J. Arzani H. Naderi H. 2011.Investigating changes in vegetation under the influence of rainfall fluctuations in the steppic rangelands of Ebrahimabad region of Yazd province. Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi). 24: (1): 68-77. (In Persian).

Ajir F. 2004. A study of water spreading effects on quantitative and qualitative change of vegetation cover. Final report of the research project, the publisher of Soil Conservation and Watershed Management Research Center. 59 p.

Arzani H. Adnani SM. Basharir HM. Azimi H. Bagheri H. Akbarzadeh M. Kaboli SH. Assessment SH. 2007. Assessment of vegetation covers and yield variation in rangelands of Qum Province (2000-2005), Journal of Range and Desert Research. 13: (4): 296-313. (In Persian).

Atarod1 EN. Baghestani Maybodi N. Barkhordari J. Mirjalili A. 2017. Effects of flood water spreading on vegetation cover characteristics (Case study: Serizi- Bafgh Plain in Yazd Province), Iranian Journal of Range and Desert Research. 25 (2): 290-297. (In Persian).

BarAbadi H. 2013. The study of water spreading effect on desertification decrease based on soil and vegetation criteria (Case study Sabzevar Plain). Ms.C. Thesis, faculty of Natural Resources, Tehran University. 110 p. (In Persian).

Barkhordari J. Zare mehrjardi M. Yousefi M. 2014. Impact of flood water spreading on soil and vegetation parameters in Sarchahan station- Hormozgan. Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi). 27 (2): 33-42. (In Persian).

Bayat movahed F. Mousavi SA. 2007. Study of water spreading impact on plant species changes in Zanjan. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research. 14 (2): 222-231. (In Persian).

Capon SJ. 2005. Flood variability and spatial variation in plant community composition and structure on a large arid floodplain. Journal of Arid Environments. 60 (2): 283-302.

Dahmardeh Ghaleno MR. Nohtani M. Askari Dehno S. 2019. Studying impact of flood water spreading on changes of vegetation and topsoil in koh khajeh flood spreading station, Sistan. Journal of Watershed Engineering and Management. 11 (1): 211-219. (In Persian).

De Jager NR. Thomsen M. Yin Y. 2012. Threshold effects of flood duration on the vegetation and soils of the upper Mississippi river floodplain. USA. Forest Ecology and Management. Vol-270: 135-146.

Derakhshi M. Eskandari Torbaghan M. Ghasemi Arian AR. NejadMohammad Nameghi AR. 2017. Improvement in some soil characteristics and vegetative cover through spate irrigation in Jahanabad Torbate Jam. Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi). 30 (3): 33-42. (In Persian).

Ehsani A. Arzani H. Farahpour M. Ahmadi H. Jafari M. Jalili A. Abasi HR. Azimi MS. Mirdavoudi HR. 2007. The effect of climatic conditions on range forage production in steppe rangelands, Akhtarabad of Saveh, Journal of Range and Desert Research. 14(2): 249-260. (In Persian).

Eizanlou E. Imani M. Bromand M. 2016. Exploitation of floods in order to restore pastures in desert areas of North Khorasan (case study of Jajarm region), National Conference of Rain Catchment Surface Systems. 19 p. (In Persian).

Fazelpour Aghdaei MR. Maleki Nejad H. Ekhtesasi MR. Barkhordari J. 2015. Investigating the vegetation in flood spreading areas of arid and semi-arid areas (Case study: Yazd Province), International Research Conference in Engineering, Science and Technology, Istanbul. 23 p. https://civilica.com/doc/398427.

Gholami P. Jalilian F. Behmanesh B. Esmaeili M. 2021. Effects of floodwater spreading on the vegetation indices in the Poshtkooh Rangelands, Keyasar, Journal of Watershed Management Research. 33 (4): 47-60. (In Persian).

Ghorbani J. Dowlati P. Heydari GH. 2015. Effects of floodwater spreading on the vegetation and soil in an arid rangeland. Journal of Arid Land Research and Management. 29 (3): 473-486. (In Persian).

Heydari K. Salehi G. Gharehdaghi H. 2018. Investigating the effect of drought on the condition of pastures in Fars province in the statistical period 2011-2018, 7th National Conference on Rangeland and Rangeland Management of Iran. 17 p. (In Persian).

Jalilian F. Behmanesh B. Esmaeili M. Gholami P. 2017. Comparison of rangeland vegetation cover and soil properties variations affected by flood spreading, enclosure and Grazing Uses, Journal of Water and Soil Science (Science and Technology, Agricultural and Natural. Resources, Isfahan University Technology). 21(2): 221-234. (In Persian).

Malekpour B. 1983. Mission Report, No: 7149, Institute of Forests and Rangelands Research, Tehran, Iran. 39 p. (In Persian).

Mesbah SH. 1992. The role of flood spreading in the revival of deserts. Proceedings of the seminar on the study of the problems of desert and desert regions of Iran, Research Center for Dry and Desert Regions of Iran, Yazd. 1051 p. (In Persian).

Mesbah SH. 1995. The response of some pasture plants against sediment deposition in Bisheh Zard 4 flood distribution network of Garebaygan. Collection of articles of the first national seminar on pasture and grazing in Iran. Isfahan University of Technology, Faculty of Natural Resources. 488 p. (In Persian).

Mesbah SH. 2003. Comparison of changes in vegetation of Kowsar aquifer in two periods of drought. The Second Meeting of the Watershed of the Uromieh, Iran. 15 p. (In Persian).

Mesbah SH. 2016. Vegetation monitoring of Kawsar aquifer Management station. The final report of the research project, Soil Conservation and Watershed Research Institute. 112 p. (In Persian).

Mesdaghi M. 2005. Range Management in Iran. Astan Quds Razavi, Mashhad. 215 p. (In Persian).

Mirjalili BA. Rahbar A. 2008. Positive effects of flood water spreading on quantitative changes of range land vegetation cover in aquifer Heart district of Yazd Province). Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi). 20 (3): 76-81. (In Persian).

Mirjalili A. 2012. A study of water spreading effects on quantitative and qualitative change of vegetation cover in Range land Herat Yazd. Final report of the research project, the publisher of Soil Conservation and Watershed Management Research Center. 127 p. (In Persian).

Mirjalili A. Musaei-Sanjeraei M. Zarezadeh Mehrizi M. 2013. Changes of vegetation cover under drought and wet periods in the flood spreading site and control rangeland of HeratYazd Province, Journal of Rangeland and Watershed Management. 66 (1): 145-156. (In Persian).

Pakparvar M. 1999. Investigating the components of soil water balance affected by different vegetation in the flood spreading system of Garebaygan, Fasa. The final report of the research project, Soil Conservation and Watershed Research Institute, R-1059482. 159 p. (In Persian).

Rango A. Tartowski SL. Laliberte A. Wainwright J. Parsons A. 2006. Islands of hydrologically and enhanced biotic productivity in natural and managed arid ecosystems. Journal of Arid Environments. 65 (2): 235-252.

Souri M. Bayat M. Arzani H. Khodagholi M. 2019. Estimation of long-term forage production of Persian steppe rangelands based on climatic parameters, Journal of Rangeland and Watershed Management. 72 (4): 995-1009. (In Persian).

Zarekia SN. Zareh A. Ehsani A. Jafari F. Yeganeh H. 2012. Relationship between rainfall and annual forage production of important range species (Case study: Khoshkerood –Saveh), Journal of Range and Desert Research. 19 (4): 614-623. (In Persian).

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Evaluation of the Effect of Flood Spreading on the Fluctuations of Rangeland Plant Indices in the Aquifer Management Kowsar Station

Seyed Mohammad Reza Habibian*[1], Gholam Reza Ghahari[2], Ahmad Hatami [3]

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

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

3- Master of Science, Natural Resources Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objectives

The history of flood spreading in the lands adjacent the rivers and flood irrigation reaches several thousand years. There are evidences of the use of floods to increase plant production in different parts of Iran, including the cities of Qazvin, Baluchistan, Khorasan, Fars, Isfahan and Khuzestan. Surveys conducted in 20 arid and semi-arid regions of the country indicate that in most regions, production indices and the percentage of plant canopy cover have increased significantly in the field of flood spreading compared to the control. The purpose of this research is to investigate the effect of flood spreading on rangeland vegetation dynamics and to determine the fluctuations of plant indices corresponding to climatic indices in a 6-year period.

Materials and Methods

In order to monitoring and comparison the fluctuations of vegetation indices was selected in Aquifer Management Kowsar Station, 2 networks (representative of the flood spreading area) with the names Bisheshzard 1 and Bisheshzard 4 and adjacent to them an area of 5 hectares outside the networks spreading as a control. The representative of the area without flood spreading). From 2016 to 2022 for 6 years, in the second half of May every year, 10 transects with a length of 150 meters and 100 plots of one square meter

Article Type: Research Article

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

Citation: Habibian, S.M.R., Ghahari, G.R., Hatami, A. 2023. Evaluation of the effect of flood spreading on the fluctuations of rangeland plant indices in the Aquifer Management Kowsar Station. Watershed Management Research. 36(3): 32-48.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360770.1508

Received: 07 December 2022, **Received in revised form:** 26 January 2023, **Accepted:** 19 March 2023,

Published online: 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 32-48.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

were established in a systematic-randomness manner in the strips of networks and the control field. The rangeland type indice species of flood spreading Gareh Bygone Plain (GBP) of Fasa shrubs are Dendrostellera lessertii (Wikstr) Van Tiegh., Heliantemum lippii (L) Pers Astragalus ssp. with understory of annual Grasses and forbs respectively. Plant indices (species name, percentage of canopy cover, number of bases per square meter, vegetative form and species biomass) and soil surface coverage (percentage of stones and pebbles, percentage of litter and percentage of bare soil) were collected every year. Using the modified six-factor method, the rangeland condition in flood distribution networks was evaluated in wet years and in dry years. For the comparison of different rangeland treatments in the survey years, flood spreading networks and strips and control area from different statistical methods (split-split plot design in time and space in the form of complete random blocks), correlation coefficients, was used step by step regression to determine the forecasting model for the production and canopy cover of rangeland plants and for average comparisons Duncan's test at the 5% level.

Results and Discussions

The results of the analysis of variance showed that the amount of plant indices evaluated between the survey years, between the networks and between the flood spreading strips had a significant difference at the level of 1% with the control. The percentage of plant canopy cover during the survey period from 8.69% in 2021 to 55.51% in 2020 and the production rate from 175.32 kg per hectare in 2021 to 813.55 kg per hectare in the year 2020 was variable. Using the adjusted 6-factor method, the rangeland condition in the networks with flood spreading in wet years was evaluated as good and in dry years as fair, while in the control area (without flood spreading) in wet years, It was assessed as poor to fair and in dry years, very poor to non-suitable for grazing.

Based on the results of the correlation analysis, a positive and significant correlation was obtained between the canopy cover and plants rangeland biomass at the level of 1% (R^2=0.86). The step by step regression results also showed that in the plant production prediction model, the independent variables (climate indicators) are the annual rainfall (R^2=0.34) the average minimum temperature (r=0.26), the amount of rainfall in The growing season of plants (R^2=0.15), the average annual temperature (R^2=0.11) and their sum (R^2=0.86) and in the prediction model, of plant canopy cover percentage, the independent variable of rainfall in the growing season of plants (R^2=0.87) had the main and decisive contribution in estimating the value of the dependent variable.

Conclusion and Recommendations

In general, it can be concluded that the percentage of plant canopy cover of Bishehzard network 1 in wet years (water years 2015-2016, 2016-2017, 2018-2019 and 2020-2021) compared to Bishehzard network 4 and control. It is statistically significant and in dry years (water years 2017-2018 and 2021-2022) these percentages are higher in control compared to two networks of Bishehzard 1 and 4. In general, there is a correlation between the production of plants with a canopy cover (R^2=0.86), with the amount of annual rainfall (R^2=0.92), with the amount of rainfall during floods (R^2=0.84), with the number of floods (R^2=0.96) =), with the duration of floods (R^2=0.96), with the autumn and winter rainfall (R^2=0.94) and with the rainfall in the plant growth Period (R^2=0.93) positive and significant correlation at the level of 1% was obtained. In general, the changes in the amount of the plant canopy cover index are in harmony with the changes in the amount of annual rainfall, the number of rainy months, its distribution, and the number and volume of effective floods in the growing season of plants. Based on the statistics from 2016 to 2022, the 6-year average dry matter production in control is 252.25 and in Bishehzard 1 and 4 it is estimated to be 528.31 and 362.17 kg per hectare, respectively. The production of flood spreading networks is about 1.43 to 2 times that of control. From 2015 to 2022, there was a significant difference in plant production index fluctuations in Bishehzard 1 and 4 networks compared to the control. In general, considering that water is one of the main factors limiting the growth and development of plants in arid and semi-arid regions, the use of flood spreading as a simple, low-cost and nature-compatible method to improve quantitative growth indices rangeland plants are inevitable.

Keywords: flood effect, rangeland monitoring, plant canopy coverage, rangeland production, Gareh Bygone of Fasa

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس
پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تعیین راهبردهای برتر تخصیص منابع آب در آبخیز دربند سملقان

احسان زاهدی[۱]، علی طالبی[۲]*، کامران داوری[۳]، وحید موسوی[۴]

۱ – دانش آموخته‌ی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه یزد
۲ – استاد دانشکده‌ی منابع‌طبیعی دانشگاه یزد
۳ – استاد گروه مهندسی آب دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۴ – استادیار دانشکده‌ی منابع‌طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

کشـــور ایران در ناحیه‌ی خشک و نیمه‌خشـــک جهان است و یکی از مسائل اساســـی دراین منطقه کمبود آب است. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی بدون جایگزینی، در بسیاری از آبخوان‌های کشور از جمله آبخوان دشت سملقان استان خراسان شمالی موجب کاهش سطح آب زیرزمینی شده است. این پژوهش با هدف تعیین راهبردهای مدیریتی مناسب برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب در آبخیز دربند سملقان با رویکرد SWOT انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش گام اول جمع‌آوری اطلاعات و آمار منطقه‌ی مطالعه‌شـــده بود و گام دوم جمع‌آوری کلیه‌ی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید منطقه، از دیدگاه ۲۰ نفر از افراد خبره، اســـتادان دانشـــگاه، کارشناسان و متخصصان منابع آب برای تصمیم‌گیری راهبردها بود. در مرحله‌ی بعد، از شـــرایط منطقه و هدف انجام این پژوهش گزارشـــی به آن‌ها داده شـــد و امتیازدهی عامل‌های داخل (قوت و ضعف) و عامل‌های خارجی (فرصت و تهدید) انجام شد. با بررسی تطبیقی عامل‌هـــا، بـــا وضعیت فعلی و انتخاب گروه راهبردی برتر از میان راهبردهای SO، WO، ST و WT ماتریس SWOT تشکیل شد و مهم‌ترین راهبردهای مدیریتی سازگار با منطقه ارائه شد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** Talebisf48@gmail.com

استناد: زاهدی، ا.، طالبی، ع.، داوری، ک.، موسوی، و. ۱۴۰۲. تعیین راهبردهای برتر تخصیص منابع آب در آبخیز دربند سملقان. پژوهش-های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۶۱-۴۹.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361023.1514

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۱/۱۰، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های۴۹ تا ۶۱
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

نتایج و بحث

جمع نمره‌های به‌دست آمده از ماتریس ارزیابی عامل‌های داخلی و داخلی در ماتریس SWOT به‌ترتیب قوت‌ها ۱/۸۳۸، ضعف‌ها ۲/۲۷۶، فرصت‌ها ۱/۹۰۸ و تهدیدها ۲/۵۷۲ بود. نتایج نشان داد که ضعف‌ها بر قوت‌ها غلبه داشتند و هم‌چنین تهدیدها در مقایسه با فرصت‌ها پیش‌رو بودند. از دیدگاه افراد خبره شرکت‌کننده در جلسه‌ی طوفان فکری، راهبرد WT، بیش‌ترین استقرار را در میان دیگر راهبردها داشت و راهبردهای منطقه‌ی مطالعه‌شده به راهبردهای تدافعی نزدیک بود. هدف این راهبرد به حداقل رساندن زیان‌های ناشی از تهدیدها و نقاط ضعف است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پس از تعیین سنجه‌های ضعف، قوت، فرصت و تهدید، در نهایت راهبرد تدافعی به‌عنوان راهبرد مدیریتی برتر در آبخیز دربند سملقان تعیین شد. باتوجه به نتایج و براساس فرصت‌ها و قوت‌های موجود و برای رسیدن به تعادل‌بخشی آبخوان منطقه، می‌توان راهکارهایی را پیشنهاد داد که تا حد امکان تهدیدها و ضعف‌ها را خنثی کند. با هدر رفتن زمان به‌عنوان اصلی‌ترین عامل فرصت، شرایط در آینده‌ی نه‌چندان دور از حالت کنونی هم بسیار بحرانی‌تر خواهد شد. تغییر الگوی کشت و استفاده از گونه‌های کم آب‌خواه متناسب با اقلیم منطقه، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین برای بهبود الگوهای تخصیص و عرضه‌ی آب، توسعه و ارتقاء مهارت‌های لازم برای استفاده کارآمد از منابع آبی در میان بهره‌برداران از جمله مناسب‌ترین راهکارهای کاهش مصرف و نزدیک شدن به هدف تعادل‌بخشی سفره‌ی زیرزمینی دشت سملقان است.

واژگان کلیدی: آبخوان، راهبرد تدافعی، کمبود آب، SWOT

مقدمه

آب یک منبع ضروری برای ادامه‌ی زندگی بشر است. در سراسر جهان در آینده با توجه به ظرفیت تغییرپذیری آب و هوا و روند مصرفی کنونی نگرانی بحران آب پیش رو است (دانیلنکو ۲۰۱۰). یک سامانه‌ی قوی مدیریت منابع آب نکته‌ی کلیدی زندگی پایدار به‌شمار می‌آید. ظهور تمدن‌های باستانی در پیرامون رودهای بزرگ نشان‌دهنده‌ی اهمیت آب به‌عنوان یک منبع برای کشاورزی، صنعت، حمل و نقل و نیازهای داخلی از جمله لذت‌های اجتماعی، تفریحی و زیبایی شناسی است (نباپرابتا و الانگو ۲۰۱۸). در دهه‌های اخیر یکی از راهکارهای نوین در بحث مدیریت منابع آب، استفاده تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. برداشت متعادل از دو منبع سطحی و زیرزمینی به نحوی که هم نیازها به گونه‌ی مطلوب بر طرف شوند و هم منابع آبی موجود با بحران مواجه نشوند، امری ضروری و حیاتی خواهد بود (احمدی و همکاران ۲۰۱۴).

برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و تغذیه نشدن دوباره‌ی آن‌ها، در بسیاری از آبخوان‌های کشور موجب کاهش سطح آب زیرزمینی شده است. از این رو مدیریت راهبردی منابع آب برای برنامه‌ریزی بهتر منابع آبی امری ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، نگرش راهبردی در مدیریت منابع آب با تکیه بر مجموع دیدگاه‌ها، سیاست‌ها، ساختارها و نظام‌های مؤثر در این زمینه، از پیشامدهای ناگهانی آینده و ایجاد شرایط بحرانی پیشگیری می‌کند و موجب توسعه‌ی پایدار منابع خواهد شد (پورفلاح و همکاران ۲۰۱۸). واکنش صحیح در برابر شرایط و تأمین منافع و حقوق نسل‌های آینده، نیازمند درک روشن از همه‌ی عامل‌ها و اجزای مؤثر در شرایط منطقه است. بنابراین نیاز بشر امروز، ایجاد مجموعه‌ای از تصمیم‌های هماهنگ به‌منظور توسعه‌ی بستری پایدار برای ایجاد تعادل و توازن میان منابع و مصارف آب است. پیچیدگی تصمیم‌گیری‌های همه‌جانبه که هماهنگی، تعامل و تعادل میان مصارف و اجزای مختلف منابع آب را ایجاد نماید و برای حرکت آن مطابق تغییرات باشد، ضرورت مدیریت و برنامه‌ریزی را آشکار می‌سازد. مدیریت و برنامه‌ریزی سطح‌های گوناگونی دارد که تعیین راهبرد عالی‌ترین سطح آن است که یک نگرش بلندمدت در تخصیص منابع و تصمیم‌گیری است. نگرش راهبردی در مدیریت منابع آب موجب توسعه‌ی پایدار منابع خواهد شد. در مدیریت راهبردی لازم است که با یک رویکرد راهبردی رو به جلو گام نهاد. یک رویکرد راهبردی به معنای عام خود، عبارت است از تکیه بر عامل‌های مثبت به منظور توانمند شدن برای رویارویی با عامل‌های منفی و برطرف کردن آن‌ها است (داوری ۲۰۰۵).

یکی از گام‌های مهم در به‌کارگیری راهبردهای منابع آب، تعیین و تدوین آن‌ها است که روش‌ها و مدل‌های مختلفی در این زمینه وجود دارد. هر یک از این مدل‌ها مفهوم و بینش خاصی دارد و از شیوه و دستورالعمل خاصی پیروی می‌کند. در میان آن‌ها ماتریس SWOT که نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای ساختار را ارزیابی می‌کند، متداول‌تر و مشهور است (هیل و همکاران ۱۹۹۷). امروزه این روش به‌عنوان ابزاری نوین

برای تحلیل عملکردها و تدوین راهبرد، به‌وسیله‌ی طراحان استفاده و ارزیابی می‌شود.
ماینایلی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تجزیه و تحلیل SWOT، عامل‌های مهم در اجرای موفقیت‌آمیز طرح‌های استفاده‌ی دوباره‌ی آب را شناسایی کردند و استفاده‌ی دوباره‌ی فاضلاب شهری را به‌عنوان منبع مهم جایگزین آب معرفی کردند. در یونان پتوسی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل SWOT راهبردهای کاهش آب آشامیدنی، مهار کردن کودهی به مزارع، بهره‌برداری از چشمه‌های کارستی، استفاده‌ی دوباره‌ی فاضلاب شهری و ساخت سدهای کوچک، را به‌عنوان بهترین راهکارها در آبخیز رود کرت تعیین کردند. در کشور اندونزی سومیاریش و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل SWOT و ماتریس QSPM، برنامه‌ی مدیریت پایدار راهبردی سامانه‌ی انتقال آب را بررسی کردند. در این پژوهش، برای به دست آوردن یک راهبرد جامع، در هر یک از مؤلفه‌های سامانه‌ی انتقال آب تجزیه و تحلیل SWOT انجام شد و اولویت‌های راهبردی با استفاده از ماتریس QSPM مشخص شد. در پژوهشی پورفلاح و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل SWOT نقاط ضعف و قوت آبخوان دشت ابرکوه را ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد که ماتریس ارزیابی عامل‌های خارجی و داخلی به‌ترتیب ارزش ۲/۲۵ و ۲/۱۸ داشت که نشان‌دهنده‌ی غلبه‌ی ضعف‌ها برقوت‌ها و همچنین تهدیدها بر فرصت‌ها بود و دشت ابرکوه در چارک محدودیت‌ها- تهدیدها (WT) راهبرد تدافعی داشت.
اسدآبادی و همکاران (۲۰۱۹) در آبخوان همدان-بهار با استفاده از تحلیل سوات و رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره نشان دادند که در انتخاب راهبرد تخصیص آب مشارکت ذینفعان در شکل‌گیری الگوهای واگذاری آب و کفایت نداشتن سازوکارهای جبرانی و پرداخت غرامت به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین نقاط قوت و ضعف بودند. همچنین آگاهی فعالان مدنی از محدودیت آب و برداشت غیرقانونی به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین فرصت‌ها و تهدیدهای تخصیص آب در آبخوان همدان_ بهار بود. علیمرادی و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیز رود دویرج ایلام با استفاده از مدل SWOT، عامل‌های مؤثر بر آبخیزداری و راهبرد مدیریتی مناسب را بررسی کردند. یافته‌های تحلیل SWOT به‌وسیله‌ی ایشان نشان داد که در مجموع ۱۸ نقطه قوت و فرصت به‌عنوان مزیت‌ها و ۱۷ نقطه ضعف و تهدید به‌عنوان محدودیت‌های پیشروی آبخیزداری در آبخیز دویرج قابل شناسایی است. در شهر بجستان محمدزاده (۲۰۲۲) با استفاده از مدل SWOT، مدیریت شبکه‌ی توزیع آب شرب و منابع تأمین آن را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که راهبرد مدیریتی شبکه‌ی توزیع آب شرب بجستان، در چارک سوم، یعنی راهبرد تدافعی[1] است. عینلو و همکاران (۲۰۲۲) آبخوان دشت ابهر را با استفاده از مدل تحلیلی SWOT مناسب‌ترین راهکارهای مدیریتی تعادل بخشی را تعیین کردند. نتایج پژوهش ایشان بیان‌گر غلبه‌ی ضعف‌ها بر قوت‌ها و همچنین تهدیدها بر فرصت‌ها بود. یعنی دشت ابهر با راهبرد تدافعی در چارک محدودیت‌ها- تهدیدها (WT)بود که نشان دهنده‌ی بحرانی بودن شرایط آبخوان دشت ابهر از نظر وضعیت منابع آبی موجود است.
از جمله بخش‌هایی که با مشکلات منابع آبی روبه‌رو است شهرستان مانه و سملقان است. مسئله‌ی بحران آب در این منطقه نتیجه‌ی به‌هم خوردن تعادل و افزایش تقاضا از منابع آبی است. به‌طور کلی این منطقه از نظر آب‌شناختی جزو مناطق نیمه‌خشک و سرد به‌شمار می‌آید و اندازه‌ی بارش سالانه و منابع تأمین‌کننده‌ی نیازهای آبی محدود است. به‌دلیل کم بودن جریان‌های سطحی منطقه، آب از منابع زیرزمینی برداشت می‌شود. از این رو منابع آب‌های زیرزمینی در این منطقه اهمیت بیش‌تری دارد است. جامع‌نگری و در نظر گرفتن تمام مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر سبب توسعه‌ی پایدار این سامانه‌ها می‌شود. انواع مختلفی از مدل‌های تصمیم‌گیری شامل AHP، ANP، QSPM و SWOT و... وجود دارد. مدل AHP و ANP از دو بخش سلسله مراتب کنترلی[2] و ارتباط شبکه‌ای[3]تشکیل شده است. سلسله مراتب کنترلی شامل ارتباط بین هدف، معیارها، و زیرمعیارها است و بر ارتباط درونی سامانه تأثیرگذار است. ارتباط شبکه‌ای شامل وابستگی بین عنصرها و خوشه‌ها است (ساعتی ۱۹۹۶). از معایب این دو مدل می‌توان به اعمال سلیقه و دادن ارزش نسبی به گزینه‌ها و همچنین نبودن امکان تبدیل یک مجموعه به یک مجموعه سلسله مراتبی اشاره کرد. مدل تجزیه و تحلیل SWOT روش مناسبی برای تبیین راهبردها در موضوع‌های گوناگون است. هدف این پژوهش تعیین راهبردهای مناسب در موضوع تخصیص منابع آب آبخیز دربند سملقان است. بنابراین از مدل برنامه‌ریزی راهبردی SWOT برای تعیین این

1-Defensive Strategy
2- Control hierarchy
3-Network relationship

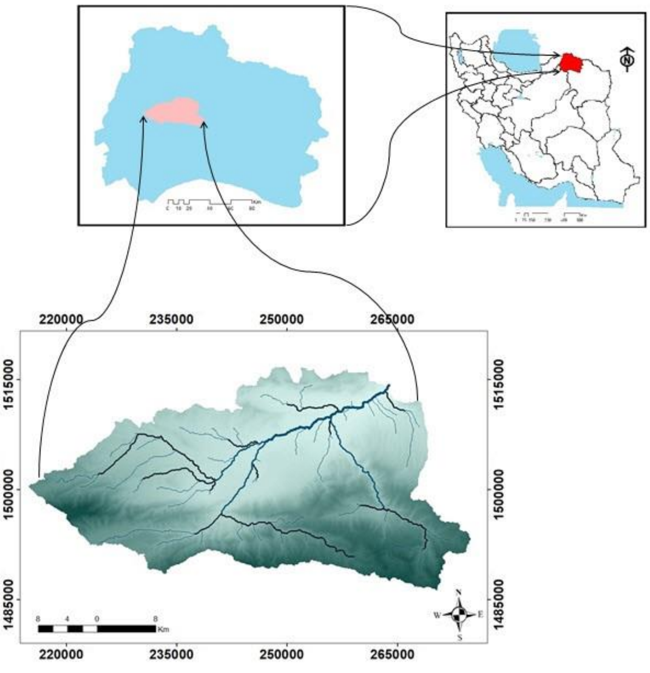
راهبردها استفاده شد. استفاده از نظر کارشناسان و افراد خبره منطقه سبب تصمیم‌گیری دقیق‌تر، کسب نتایج نزدیک به واقعیت و در نهایت افزایش دقت پژوهش شد. با توجه به اینکه تاکنون نقاط ضعف، قوت و هم‌چنین تهدید و فرصت منابع آب و تخصیص آن در منطقه‌ی مزبور به‌طور جامع مقایسه و بررسی نشده است، سعی شد در این پژوهش با بررسی تمام گزینه‌ها و معیارهای مؤثر بر منابع آب براساس نظر افراد خبره، از روش مدل تحلیلی SWOT در راستای تعیین بهترین راهکارهای مدیریتی برای منابع آبی استفاده شود.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده

آبخیز سملقان یکی از دشت‌های حاصل‌خیز استان خراسان شمالی است و از زیرآبخیزهای جنوبی رود اترک است. شیب عمومی این دشت از طرف جنوب، غرب به شمال‌شرق است و کاهش بلندی در جهت شمال‌شرق باعث شده که شیب لازم برای زهکش نمودن رواناب و سیلاب‌های آبخیز پدید آید (شکل ۱). امتداد آبراهه‌های اصلی در بلندی‌های شمال، جنوب و غرب می‌باشد که باعث می‌شود رواناب و سیلاب‌های آبخیز سملقان را به سمت رود اصلی دشت که در امتداد جنوب‌غرب-شمال‌شرق است هدایت کند. شهرستان مانه و سملقان، دارای ۳ بخش مانه، سملقان و بخش مرکزی است. آبخیز سملقان شامل بخش سملقان به مرکزیت شهر قاضی و بخش مرکزی به مرکزیت شهر آشخانه با جمعیتی حدود ۷۵ هزار نفر است. شهرستان مانه و سملقان به عنوان قطب کشاورزی استان خراسان شمالی به‌شمار می رود که اکثر زمین‌های کشاورزی در دشت سملقان است.

این منطقه به‌دلیل شرایط خاص ریخت‌شناسی و محیطی و از طرف دیگر هم‌جواری با ناحیه‌ی مرطوب هیرکانی تنوع اقلیمی خاصی دارد. در این منطقه بلندترین و پست‌ترین نقاط از سطح دریا به‌ترتیب ۲۷۸۹ و ۵۸۶ متر است. میانگین بارش ۴۶۵ میلی متر و میانگین دما $11\,^{0}C$ است. مساحت آبخوان آبرفتی سملقان ۱۵۸ کیلومتر مربع است. تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در دشت سملقان عمدتاً در دو ناحیه‌ی شمال‌شرقی و جوب‌غربی است. بهره‌برداری از چاه‌های مزبور عمدتاً به‌منظور مصارف کشاورزی، گاها شرب و صنعت انجام می‌شود. در پیرامون آبخوان ۲۰۲ چاه، ۲۵ چشمه و ۷ دهانه‌ی قنات وجود دارد. آبخوان دشت یک لایه و آزاد است و تنوع اندازه‌ی ذرات در نقاط مختلف دشت بسیار زیاد است. از لحاظ زمین‌شناسی آبخیز سملقان در محدوده هزارمسجد-کپه‌داغ و به‌طور تقریبی در مرز شمالی واحد بینالود است. به‌طور کلی، گستره‌ی چینه‌شناسی منطقه شامل رخنمون هایی از سازند چمن‌بید (قدیمی‌ترین سازند زمین‌شناسی آبخیز) تا جوان‌ترین واحد زمین‌شناسی (آبرفت‌های زمان حال) می‌باشد. (نصیری و همکاران ۲۰۲۰).



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Figure 1- Location of the study area.

مدل استفاده‌شده در پژوهش

در این پژوهش با استفاده از مدل SWOT سعی شد که ضمن شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید، راهبردهای مدیریتی برای منابع آب نیز تعیین شود. مدل SWOT یک ابزار مهم برای تصمیم‌گیری است که با ارائه‌ی چارچوب ساده اما مفید برای تحلیل نقاط قوت و ضعف (محیط درونی) و فرصت‌ها و تهدیدها (محیط بیرونی) استفاده می‌شود (براتی و همکاران ۲۰۱۷، ویلن و هانگر ۲۰۱۲). این مدل سازمان‌ها را یاری می‌دهد تا با تدوین راهبردهای مناسب، از نقاط قوت خود بهره بگیرند، نقاط ضعف را از پیش رو بردارند، از فرصت‌ها بهره‌برداری کنند و با تهدیدها رویارویی کنند (براتی و همکاران ۲۰۱۷).

مرحل‌های عملی مدل SWOT شامل پنج گام اصلی است:

- تعیین نقاط ضعف، قوت، تهدیدها و فرصت‌ها
- تعیین ضریب‌های اولیه هر یک از عامل‌های داخلی و بیرونی
- تعیین وزن نهایی هر یک از عامل‌های داخلی و بیرونی
- تعیین ترکیب راهبردها
- تعیین راهبردها (عینلو و همکاران ۲۰۲۲).

عامل‌های داخلی

عامل‌هایی هستند که در درون خود ساختار یا منطقه وجود دارند و در تعیین وضعیت منطقه مؤثر می‌باشد. در مدل SWOT، عامل‌های داخلی شامل نقاط قوت و نقاط ضعف یک ساختار، سازمان یا منطقه است. شناسایی نقاط قوت، راه تقویت ساختار را آشکار کرده و در کنار آن، شناسایی نقاط ضعف باعث می‌شود که از این نقاط به نفع نقاط قوت استفاده شود (پورفلاح و همکاران ۲۰۱۸).

عامل‌های خارجی

عامل‌هایی هستند که از پایش منطقه خارج است و از بیرون بر ساختار اثر می‌گذارند. به نوعی مرتبط به فرآیندهایی است که در خارج از پیرامون منطقه رخ می‌دهند. عامل‌های خارجی شامل فرصت‌ها و تهدیدها است. یعنی چه عامل‌هایی از بیرون به‌عنوان یک فرصت تلقی می‌شوند که می‌توانند برای پیشرفت یک منطقه مؤثر باشند و از طرفی چه عامل‌هایی یک تهدید به‌شمار می روند که برای منطقه خطرساز است که باید از آن دوری کرد و آن را به فرصت تبدیل کرد (عموزاد و مالک ۲۰۱۱).

در این پژوهش عامل‌های داخلی (مانند انسجام و همبستگی بین سازمان‌های مختلف) عامل‌هایی بودند که تحت تأثیر ارگان هایی مانند شرکت آب منطقه‌ای، آب و فاضلاب، جهاد کشاورزی و غیره، به‌طور مستقیم در امر سیاست‌گذاری آب دخالت داشتند. عامل‌های خارجی (مانند شرایط اقلیمی مناسب و غیره) عامل‌هایی بودند کــه خارج از تأثیرپذیری مجموعه‌ی این ارگان‌ها بود. در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل هم‌زمان عامل‌های داخلی و خارجی از ماتریس SWOT استفاده شد. جمع نمره‌های به-دست آمده از ارزیابی عامل‌های داخلی و خارجی در محورهای افقی و عمودی این ماتریس گذاشته شد تا جایگاه ساختار معین شود. در جریان اجرای این مدل نقاط ضعف، قوت، فرصت‌ها و تهدیدها مشخص شد. سپس با استفاده از این عامل‌ها، در چهار بخش، راهبردهای مختلف و متنوع تعیین شد. درنهایت پاسخ به این سوال که روند راهبردها باید به چه سمتی پیش برود و چه نوع راهبردی مهم‌تر و کاراتر است، بررسی شد. راهبردهای چهارگانه این مدل عبارت بودند از:

راهبرد تهاجمی (SO): راهبردهای حداکثر استفاده از فرصت‌های محیطی با به‌کارگیری نقاط قوت سازمان است.

راهبرد محافظه‌کارانه (WO): راهبردهای استفاده از مزیت‌های بالقوه‌ای که در فرصت‌های محیطی نهفته است و برای جبران نقاط ضعف موجود در سازمان استفاده می‌شود.

راهبرد رقابتی (ST): راهبردهای استفاده از نقاط قوت سازمان برای جلوگیری از رویارویی با تهدیدها است.

راهبردهای تدافعی (WT): راهبردهایی برای به حداقل رساندن زیان‌های ناشی از تهدیدها و نقاط ضعف است (الماسی و همکاران ۲۰۱۱).

در نهایت مشخص می شود که راهبردهای تعیین‌شده، باید در قالب کدام یک از راهبردهای چهارگانه باشد تا روند بهبود ساختار یا منطقه برای این نوع راهبردها حرکت کند.

در این پژوهش به‌منظور تجزیه و تحلیل SWOT و تدوین راهبردها، ابتدا براساس آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه، نقاط ضعف، قوت، فرصت‌ها و تهدیدهای منطقه تعیین شد. سپس به‌منظور بررسی عامل‌های ماتریس SWOT پرسش‌نامه‌ها تهیه شد و از یک گروه ۲۰ نفره به‌عنوان تصمیم‌گیرنده نظرسنجی انجام شد. این گروه متشکل از کارشناسان و افراد خبره (استادان، دانشجویان مقطع دکتری دانشگاه، کارشناسان آب منطقه‌ای، کارشناسان جهاد کشاورزی و بهره‌برداران) بودند. به هر یک از عامل‌های تعیین‌شده ضریب یا اهمیت نسبی داده شد. سپس شاخص‌ها و عامل‌ها از ۱ تا ۴ براساس اندازه‌ی ارزش آن‌ها رتبه‌بندی شدند. درنهایت با ضرب رتبه در ضریب یا اهمیت نسبی، ارزش

نهایی هر عامل تعیین شد. با جمع ارزش‌ها و نمره‌ها، ارزش نهایی هر یک از عامل‌های چهارگانه (نقاط ضعف، قوت، تهدیدها و فرصت‌ها) محاسبه شد. عامل‌های داخلی و خارجی استفاده شده در این پژوهش در جدول‌های ۱ تا ۴ ارائه شده است.

نتایج و بحث

در این پژوهش براساس نظرهای پیشنهادشده به‌وسیله‌ی افراد شرکت کننده در جلسه‌ی طوفان فکری، اهمیت نسبی و رتبه عامل ها تعیین شد. ماتریس ارزیابی عامل‌های داخلی و خارجی در جدول‌های ۱ تا ۴ آورده شده است.

سپس شاخص‌ها و عامل‌ها از ۱ تا ۴ براساس اندازه‌ی ارزش آن‌ها رتبه‌بندی شدند و درنهایت با ضرب رتبه در اهمیت نسبی، ارزش نهایی هر عامل به‌دست آمد.

مهمترین نقاط قوت در بخش مدیریت منابع آب آبخیز دربند سملقان از دیدگاه افراد خبره و کارشناسان شامل، رشد توجه به مدیریت یکپارچه‌ی آب، تخصیص مناسب منابع آب موجود در اسناد بالادستی و امکان اجرای اقدام‌های آبخیزداری برای جمع آوری جریان‌های سیلابی (ارزش نهائی۰/۴۴۲) شناخته شد (جدول ۱).

جدول ۱- عامل‌های داخلی (نقاط قوت) به‌منظور مدیریت منابع آب دشت سملقان.

Table 1- Internal factors (strengths) in order to manage the water resources of the Samlaqan Plain.

Rank	Strengths	Relative importance	Grade	Final value
S1	Coherence and solidarity between different organizations and social forces	0.117	1	0.117
S2	Increasing the government's attention to the development of infrastructure and water transmission networks	0.121	1	0.121
S3	Increasing attention to integrated water management and proper allocation of water resources in upstream formal documents	0.147	3	0.442
S4	The possibility of creating a capital fund to carry out basic actions	0.109	1	0.109
S5	The possibility of investigating the exact amount of water demand and per capita consumption of citizens	0.127	2	0.255
S6	The possibility of optimizing water consumption in the drinking water sector	0.109	1	0.109
S7	The possibility of equipping water wells with smart meters to control and manage water consumption	0.121	2	0.242
S8	The possibility of implementing of watershed management activities to collect flood flows	0.147	3	0.442
	Sum	1	14	1.838

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، در میان نقاط ضعف منطقه در ۱۰ گروه طبقه‌بندی شده، مهم‌ترین و اثرگذارترین نقطه‌ی ضعف در مدیریت منابع آب منطقه، نبودن قوانین و مقررات برای جلوگیری از بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی (ارزش نهایی ۰/۴۵۶) بود.

جدول ۲- عامل‌های د اخلی (نقاط ضعف) به‌منظور مدیریت منابع آب دشت سملقان.

Table 2- Internal factors (weaknesses) in order to manage the water resources of the Samlaqan Plain.

Rank	Strengths	Relative importance	Grade	Final value
W1	Lack of intellectual space in order to make people aware of the issue of water crisis	0.084	1	0.0843
W2	Lack of rules and regulations to prevent excessive exploitation of water resources	0.114	4	0.456
W3	Absence of water resource users in the planning department	0.101	3	0.303
W4	Lack of proper information for public information	0.094	1	0.094
W5	People's lack of awareness of the water crisis issue due to the ease of public access	0.098	2	0.197
W6	Lack of a coherent organizational structure in the water resources management sector	0.107	3	0.322
W7	Lack of expert and experienced people in water resources management	0.089	1	0.089
W8	Weakness of education in the field of operationalization of optimal consumption model	0.097	2	0.194
W9	Destruction of water resources due to profit from allocation	0.105	2	0.21
W10	Lack of active and legal supervision of government departments in water consumptionin the agricultural sector	0.107	3	0.322
	Sum	1		2.276

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، در میان فرصت‌های منطقه در ۱۰ گروه طبقه‌بندی شده، مهم‌ترین فرصت امکان یکپارچه سازی زمین‌ها و جلوگیری از خردشدن زمین‌ها از روش سامانه‌های یکپارچه آبیاری تحت فشار (امتیاز ۰/۳۵۳) بود. همچنین عامل‌های مشارکت کشاورزان در مدیریت آب زیرزمینی و امکان ترویج فرهنگ استفاده صحیح بر کاهش مصرف منابع آب (امتیاز ۰/۳۴۴) از دیگر عامل‌های تاثیرگذار تشخیص داده شد که توجه به این عامل‌ها می‌تواند به تغذیه‌ی سفره‌ی آب زیرزمینی کمک کند.

جدول ۳- عامل‌های خارجی (فرصت ها) به‌منظور مدیریت منابع آب دشت سملقان.

Table 3- External factors (opportunities) in order to manage the water resources of Samlaqan Plain.

Rank	Strengths	Relative importance	Grade	Final value
O1	Participation of farmers in the management of underground water(take over the management of water exploitation)	0.115	3	0.344
O2	The possibility of promoting the culture of correct use of reducing the consumption of water resources by using promoters and religious leaders	0.115	3	0.344
O3	Suitable climatic conditions for the cultivation of low water-demanding species	0.059	1	0.059
O4	Public participation between farmers and government officials	0.106	2	0.212
O5	Community activists' awareness of water limitations and the need for proper allocation of water resources	0.108	2	0.215
O6	Decentralization of political power and delegation of authority to local NGOs	0.092	1	0.092
O7	Participation of stakeholders in the formation of water delegation patterns and acceptance of management role in the process of water allocation	0.101	1	0.101
O8	The existence of the potential to create different cooperatives in order to create local markets for buying and selling water	0.095	1	0.095
O9	The possibility of consolidating land and preventing fragmentation of land through integrated irrigation systems under pressure	0.118	3	0.353
O10	The possibility of using low-water mineral and industrial potentials instead of agriculture	0.092	1	0.092
	Sum	1	18	1.908

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۴، عامل‌های تهدیدکننده‌ی منابع آبی آبخیز دربند سملقان ۱۱ عامل شناسایی شد. عامل‌های وجود سامانه‌ی آبیاری سنتی، کم بودن راندمان آبیاری، بهره‌وری عامل‌های تولید (آب و خاک)، عملکرد در سطح، هزینه‌های زیاد تولید، رخداد خشک‌سالی پی‌درپی و تغییرات اقلیمی از مهم‌ترین عامل‌های تهدیدکننده‌ی منابع آبی منطقه شناخته شدند.

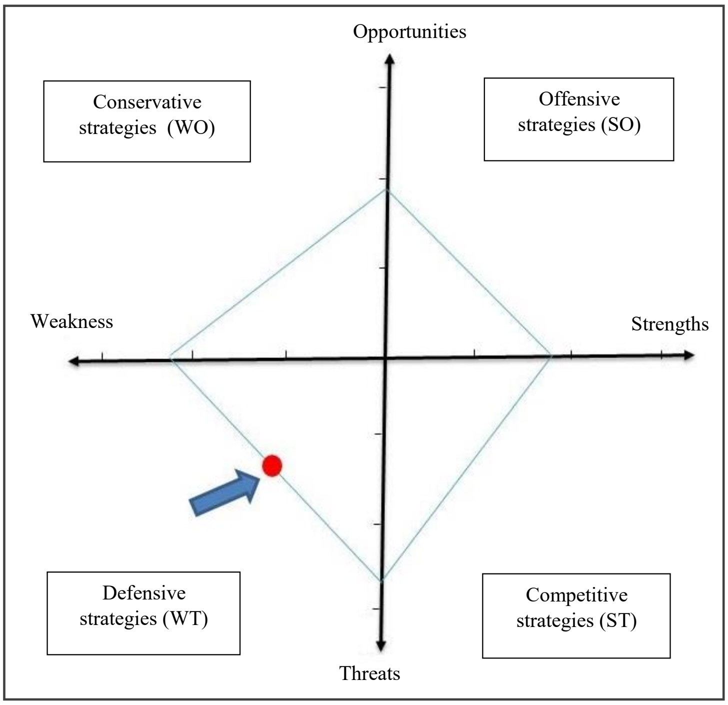
جدول ۴- عامل‌های خارجی (تهدیدها) به منظور مدیریت منابع آب دشت سملقان.

Table 4- External factors (threats) in order to manage the water resources of Samlaqan Plain.

Rank	Strengths	Relative importance	Grade	Final value
T1	Lack of dialogue between stakeholders, non-governmental organizations and government organizations	0.081	1	0.081
T2	Inadequate income, lack of job creation and strong dependence of the rural economy on agricultural production and activities	0.09	3	0.271
T3	Not knowing the real value of water in agriculture, industry, drinking and health sectors	0.093	3	0.279
T4	Inconsistency between relevant bodies (regional water, environment, agriculture and industry	0.081	1	0.081
T5	Lack of sufficient information and awareness of farmers regarding the issue of water crisis and ways to reduce it	0.092	3	0.275
T6	The existence of traditional irrigation system and low irrigation efficiency and productivity	0.11	4	0.440
T7	The occurrence of successive droughts and climate changes	0.11	4	0.440
T8	Existence of small peasant system	0.093	3	0.279
T9	Increasing trend of inappropriate cultivation pattern in the region	0.075	1	0.075
T10	Absence of agricultural products stock market	0.086	2	0.171
T11	The change of hydraulic gradient and the movement of salt water towards fresh water due to the indiscriminate extraction of underground fresh water resources by operators	0.09	2	0.181
	Sum	1	27	2.572

برای تعیین وضعیت کلی راهبردهای منطقه از ضریب نهایی هر بخش استفاده شد. ضریب هر بخش از مجموع ضریب‌های نهایی هر عامل به‌دست آمد(جدول‌های ۱ تا ۴). نمودار راهبردها شبیه دستگاه مختصات است. به این منظور ضریب هر بخش در محور مربوطه مشخص و به‌هم دیگر وصل شد. شکل رسم شده به هر سمت که کشیده‌تر و متمایل‌تر بود، نشان‌دهنده‌ی وضعیت راهبردهای آن منطقه بود (شکل۲). باتوجه به نتایج پژوهش براساس فرصت‌ها و قوت‌های موجود در منطقه می‌توان راه‌کارهایی را پیشنهاد داد که برای رسیدن به تعادل‌بخشی آبخوان منطقه، تهدیدها و ضعف‌ها را تا حد امکان خنثی کرد. جمع نمره‌های به‌دست آمده از ماتریس ارزیابی عامل‌های داخلی و داخلی SWOT به‌ترتیب شامل قوت‌ها با ضریب ۱/۸۳۸، ضعف‌ها با ضریب ۲/۲۷۶ فرصت‌ها با ضریب ۱/۹۰۸ و تهدیدها با ضریب ۲/۵۷۲ بود. بنابراین ضعف‌ها بر قوت‌ها غلبه داشت و تهدیدها در مقایسه با فرصت‌ها پیش‌رو بودند. نتایج به‌دست آمده با یافته‌های رحمتی‌پور و معروفی (۲۰۱۷) و موسوی‌زاده و همکاران

(۲۰۱۵) مطابقت دارد. از دیدگاه افراد خبره و کارشناسان و صاحب نظران، راهبرد WT با بیش‌ترین استقرار در میان دیگر راهبردها شناخته شد و در نتیجه راهبرد آبخیز دربند سملقان به راهبردهای تدافعی نزدیک بود. هدف این راهبرد به حداقل رساندن زیان‌های ناشی از تهدیدها و نقاط ضعف است. پس از راهبرد WT، راهبرد محافظه‌کارانه‌ی WO با بیش‌ترین اندازه‌ی استقرار شناخته شد. این راهبرد به‌منظور استفاده از مزیت‌های بالقوه‌ای که در فرصت‌های محیطی پنهان است و برای جبران نقاط ضعف موجود استفاده می‌شود. از نظر افراد پاسخ‌گو راهبرد رقابتی ST در مرتبه‌ی سوم بود. در پایان راهبرد تهاجمی SO با کم‌ترین اندازه‌ی استقرار شناخته شد. نتایج مزبور با یافته‌های عینلو و همکاران (۲۰۲۲)، پورفلاح و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.



شکل ۲- تعیین راهبردهای مدیریت منابع آب آبخیز دربند سملقان در ماتریس SWOT.

Figure 2- Determining water resources management strategies of Darband Samalghan watershed in the SWOT matrix.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های پژوهش در ارزیابی نقاط قوت و ضعف بیان‌گر آن بود که در محیط درونی، ضعف‌ها حاکم است. لازم به توضیح است که مهم‌ترین نقاط قوت در بخش مدیریت منابع آب آبخیز دربند سملقان از دیدگاه افراد نخبه و کارشناسان، رشد توجه به مدیریت یکپارچه‌ی آب، تخصیص مناسب منابع آب موجود در اسناد بالادستی و امکان اجرای اقدام‌های آبخیزداری برای جمع‌آوری جریان‌های سیلابی شناخته شد. از سوی دیگر یافته‌های ارزیابی فرصت‌ها و تهدیدهای سیاست تخصیص آب در منطقه‌ی مطالعه شده، بیان‌گر آن بود که در محیط بیرونی، تهدیدها حاکم هستند. با توجه به نتایج مدل تحلیلی SWOT و شرایط بحرانی کنونی دشت سملقان و اهمیت مدیریت بهینه و جلوگیری از برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی و با در نظر گرفتن مهم‌ترین ضعف‌ها و تهدیدهای اصلی در این دشت، پیشنهاد می‌شود به‌طور ویژه یکپارچه سازی زمین‌ها و جلوگیری از خرد شدن آن‌ها از روش سامانه‌های یکپارچه‌ی آبیاری تحت فشار توجه شود. در این راستا مشارکت کشاورزان در مدیریت آب زیرزمینی و امکان ترویج فرهنگ استفاده صحیح بر کاهش مصرف منابع آب از مهم‌ترین فرصت‌های سیاست تخصیص آب هستند. از مهم‌ترین تهدیدهای سیاست تخصیص آب در این منطقه می‌توان به سامانه‌های آبیاری سنتی، کم بودن راندمان آبیاری، بهره‌وری عامل‌های تولید (آب و خاک)، عملکرد در سطح، هزینه‌های زیاد تولید، رخداد خشک‌سالی پی‌درپی و تغییرات اقلیمی اشاره کرد.

باتوجه به نتایج و براساس فرصت‌ها و قوت‌های موجود و برای رسیدن به تعادل‌بخشی آبخوان منطقه، می‌توان راهکارهایی را پیشنهاد داد که تا حد امکان تهدیدها و ضعف‌ها را خنثی کند.

با هدر رفتن زمان به‌عنوان اصلی‌ترین عامل فرصت، شرایط در آینده‌ی نه‌چندان دور از حالت کنونی هم بسیار بحرانی‌تر خواهد شد. با به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی به‌دست آمده از مدل تحلیلی SWOT، می‌توان با فرصت‌ها و قوت‌های پیش‌رو بر ضعف‌ها و تهدیدهای منطقه غلبه کرد، و راهبرد آبخیز دربند سملقان را به راهبرد WO و ST ارتقاء داد.

توجه نکردن به وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت مزبور در آینده‌ی نه‌چندان دور حالت فعلی بحرانی‌تر خواهد شد.

با توجه به شرایط و محدودیت‌های منطقه راهکارهای مدیریتی مانند سیاست تغییر الگوی کشت، استفاده از گونه‌های کم آبخواه با توجه به اقلیم منطقه، بهره‌گیری از روش‌های نوین برای بهبود الگوهای تخصیص و عرضه‌ی آب، برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای ارتقاء و تقویت سازوکارهای مشارکتی با در نظر گرفتن ذینفعان، ایجاد و توسعه‌ی سازمان‌های عام‌المنفعه و مردم نهاد در تخصیص آب، توسعه و ارتقاء مهارت‌های لازم در زمینه‌ی استفاده کارآمد از منابع آبی در میان بهره‌برداران پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

Ahmadi A, Zadevakili N, Safavi H, Ohabyazdi S. 2014. Development of a dynamic planning model in order to allocate surface and underground water resources, (Case study: Zayandeh Rood Watershed). Journal of Iran-Water Resources Research . 11(1):21-31. (In Persian).

Alimoradi M, Talebi A, Karimi H. 2021. Analysis of factors affecting watershed management and management strategy presentation using the SWOT model. Journal of Extension and Development of Watershed Management. 9(35):1-11. (In Persian).

Almasi H, Ghasemi T. 2011. Tourism strategy development based on SWOT Matrix. Quarterly New Attitudes in Human Geography. 5(1):193-201. (In persian).

Amoozadkhalili H, Malek A. 2011. Project risk management techniques in resource allocation, scheduling and planning. International Science Index, Industrial and Manufacturing Engineering. 5(11):2113-2117. (In Persian).

Asadabadi E, Asadi A, Kalantari Kh. 2019. Choosing water allocation strategy in Hamedan–Bahar squifer based on SWOT and multi-criteria decision making. Journal of Iran Agricultural Extension and Education. 16 (2) :39-61. (In Persian).

Barati AA, Nazari MR, Asadi A. (2017). A hybrid method (ANP-SWOT) to formulate and choose strategic alternatives for development of rural cooperatives in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology. 19(4):757-769. (In Persian).

Danilenko A, Dickson E, Jacobsen M. 2010. Climate change and urban water utilities: Challenges and opportunities. Water Working Notes. 1(1): 1-96

Davari D. 2005. Strategic management of nongovernmental organizations. Big Olive Spreadsheets. Tehran. First Edition. 80 p. (In Persian).

Domeneghetti A, Tarpanelli A, Grimaldi L, Brath A. 2018. Flow duration curve from satellite: Potential of a Lifetime SWOT mission. Journal of Remote Sensing. 10(7):1-23

Einloo F, Ekhtesasi M, Ghorbani M, Ebrinejad P. 2022. Determining the most suitable management strategies for balancing the Abhar plain aquifer using the SWOT analytical model. Journal of Watershed Management Research.13(25):179-187. (In Persian).

Gao X, Lingling C, Bowen S, Yinzhu L. 2017. Employing SWOT analysis and normal cloud model for water resource sustainable utilization assessment and strategy development. Journal of Sustainability.9 (8):1-23

Hashemi Madani FS, Bani Habib ME. 2014. Development of water resources management strategies using the SWOT model to achieve sustainable development, (Case study: Shahrood). Iranian Water Research Journal. 10(4): 63-72. (In Persian).

Hill T, Westbrook R. 1997. SWOT analysis: It is time for a product recall. Long Range Planning. 30(1):46-52.

Mainail B, Neo HN, Guo WS. 2012. SWOT analysis to assist identification of the critical factors for the successful implementation of water reuse schemes. Journal Desalination and Water Treatment. 32(1-3):297-306.

Mohammadzafe F. 2022. Comparing and evaluating the performance of drinking water supply and distribution methods and introducing the most appropriate solutions using multi-criteria decision-making methods and strategic SWOT analysis. Ph.D. thesis, Yazd University. 170 p .(In Persian).

Mousavizadeh SR, Khorrami S, Bahreman M. 2015. Presenting a strategic plan of integrated water resources management by using SWOT in Bushehr Province. International Journal of Operations and Logistics Management, 4(1) 27-42. (In Persian).

Nabaprabhat P, Elango L. 2018. Predicting future water supply-demand gap with a new reservoir, desalination plant and waste water reuse by water evaluation and planning model for Chennai megacity, India. Journal of Groundwater for Sustainable Development. 7:8-19

Nasiri Sh, Ansari H, Ziyaei A. 2020. Simulation of سamlaqan aquifer using SWAT and Mudflow models. Journal of Water and Soil. 25(3):45-57. (In Persian).

Pourfallah S, Ekhtesasi M, Malekinejed H, Goodrzi F. 2018. Application of SWOT analysis in determining appropriate strategies for the balance of the aquifer Abarkuh Plain. Journal of Watershed Management Research.10(20):179-188. (In Persian).

Petousi I, Fountoulakis M, Papadaki A, Sabathianakis I, Daskalakis G. 2017. Assessment of water management measures through SWOT analysis: The case of Crete Island, Greece. International Journal of Environmental Science. 2 (1): 2367-8941.

Rahmatipour A, Marofi S. 2017. Planning and prioritizing sustainable development strategy for the water resource of Sanghar plain using SWOT model and QSPM matrix. Journal of Irrigation and Water Engineering. 1(29):169-185. (In Persian).

Saaty TL. 1996. Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process, RWS Publications, Pittsburgh. 370 p.

Sumiarsih N, Legono D, Kodoatie J. 2018. Strategic sustainable management for water transmission system: A SWOTQSPM analysis, Journal of the Civil Engineering Forum. 4(1):29-40

Wheelen TL, Hunger JD. 2012. Strategic management and business policy: Toward global sustainability. 13th Edition. New York: Pearson/Prentice Hall. 391 p.

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Determining the Best Strategies for Allocating Water Resources in Darband Samalghan Watershed

Ehsan Zahedi[1], Ali Talebi[*2], Kamran Davari[3], Vahid mousavi[4]

1- Ph.D. Graduate of Watershed Science and Engineering, Yazd University, Yazd, Iran
2- Professor., Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
4- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Noor, Iran

Extended Abstract

Introduction

Iran is located in arid and semi-arid areas of the world and the major factor in this region is water shortage. The intensive use of groundwater resources has often affected ground water levels in many parts of the world. This research was carried out with the aim of determining the appropriate management strategies for the optimal use of water resources in the Darband Samalghan watershed with the SWOT approach.

Materials and methods

In order to carry out this research, several stages have been implemented, which include collecting information and data from the study area, as well as collecting all the strengths and weaknesses, opportunities and threats of the area, from the perspective of a group including experts and specialists in water resources to make a decision about the strategies. In the next stage, they were informed about the conditions of the region and the purpose of this study, and then scoring of internal factors (strengths and weaknesses) and external factors (opportunities and threats) was obtained. And by examining the factors with the current situation and choosing the best strategic group among SO, WO, ST and WT strategies, the SWOT matrix was formed and the most important management strategies compatible with the region were presented.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** Talebisf48@gmail.com

Citation: Zahedi, E., Talebi, A., Davari, K., mousavi, V. 2023. Determining the Best Strategies for Allocating Water Resources in Darband Samalghan Watershed. Watershed Management Research. 36(3): 49-61.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.361023.1514

Received: 01 January 2023, Received in **revised form:** 30 January 2023, **Accepted:** 19 March 2023, **Published online:** 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 49-61.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Results and discussion

To determine the management strategies of water resources in Darband Samalghan watershed, the average of all SWOT tables was calculated. The sum of the scores obtained from the evaluation matrix of internal and external factors were 1.838 Strengths, 2.276 weaknesses, 1.908 opportunities, and 2.572 threats respectively, and as a result, the weaknesses outweigh the strengths. They prevail and also the threats are ahead compared to the opportunities. WT strategy, from the point of view of the experts present in the brainstorming session, had the most establishment among other strategies, and the strategies of this study area were close to defensive strategies. This strategy aims to minimize losses caused by threats and weaknesses.

Conclusions and suggestion

After determining the parameters of weakness, strength, opportunity, and threat, finally the defensive strategy was determined as the best management strategy in Darband Samalghan area. According to the results obtained from this research, based on the opportunities and strengths in the region, it is possible to propose solutions that neutralize the threats and weaknesses in order to achieve the balance of the region's aquifer. If we lose time and the main factor of opportunity, the situation in the not so distant future will become much more critical than the current situation.

Taking advantage of new technologies to improve the patterns of water allocation and supply, developing and upgrading the skills needed in the field of efficient use of water resources among users, changing the type of cultivation, irrigation methods, watershed measures and artificial feeding of the aquifer to prevent floods and The waste of water resources and the installation of volume meters are among the most appropriate solutions to reduce consumption and approach the goal of balancing the underground aquifer of Samleqan Plain.

Key words: Aquifer, defensive strategy, water shortage, SWOT

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

ارزیابی اثر کاربری زمین و ویژگی‌های خاک بر اندازه‌ی سرب خاک آبخیز شهری شیراز با استفاده از زمین‌آمار و نقشه‌برداری رقومی خاک

سیدجواد نقیبی[۱*]، مجید باقرنژاد[۲]، سیدعلی ابطحی[۳]، سیدعلی‌اکبر موسوی[۴]، مهدی زارعی[۵]

۱ -دانشجوی مقطع دکتری بخش علوم و مهندسی خاک دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز و رئیس اداره‌ی مطالعات و ترویج سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهری شهرداری شیراز

۲، ۳، ۴ – استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

۵ – دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

توســعه‌ی شهری، چالش‌های زیست‌محیطی به‌همراه دارد، و یکی از این چالش‌ها، آلودگی خاک به فلزهای سنگین اســت که برای بهداشت و ســلامت عمومی آبخیزنشینان بسیار نگران کننده اســت. یکی از فلزهای سنگین که در زیســت‌بوم‌های شهری نقش مهمی در آلودگی خاک دارد، عنصر سرب است. سرب از دیرباز به‌وسیله‌ی بشر استفاده شــده است و در دهه‌های اخیر بنزین ســرب‌دار، یکی از منابع اصلی این آلاینده در آبخیزهای شهری است. استفاده از نقشــه‌برداری رقومی خاک با اســتفاده از تابع‌های موجود در زمین‌آمار، پهنه‌بندی آلودگی خاک را در مقایســه با روش‌های قدیمی دچار تحول کرده اســت و می‌تواند به مدیریت بهینه‌ی آلودگی خاک منجر شــود. افزون بر این، کاربری زمین می‌تواند تأثیر زیادی بر این مدیریت داشــته باشــد. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی اندازه‌ی فلز سنگین سرب خاک و ارتباط آن با کاربری زمین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعه‌شده، آبخیز شــهری شیراز با مساحت ۴۱۱۳۳ هکتار، به‌عنوان بخشی از آبخیز دریاچه‌ی مهارلو در بخش مرکزی شهرستان شیراز استان فارس در جنوب ایران بود. وضعیت رطوبتی و دمایی خاک‌های منطقه به‌ترتیب

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: نقیبی، س،ج.، باقرنژاد، م.، ابطحی، س،ع.، موسوی، س،ع،ا.، زارعی، م. ۱۴۰۲. ارزیابی اثر کاربری زمین و ویژگی‌های خاک بر اندازه‌ی سرب خاک آبخیز شهری شیراز با استفاده از زمین‌آمار و نقشه‌برداری رقومی خاک. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۸۰-۶۲

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361155.1519

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۱/۱۸، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های۶۲ تا ۸۰

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

زریک و ترمیک می‌باشد. کاربری‌های بررسی‌شده در این پژوهش شامل: زمین‌های بایر، پارک شهری، باغ و زمین‌های مرتعی کوهستانی بود. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از هر کاربری ۳۰ نمونه خاک از ژرفای صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد. برای تولید نقشه‌های رقومی از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های زمین‌آماری واریوگرام کروی و نمایی استفاده شد. همچنین از روش کریجینگ برای برآورد ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و اندازه‌ی سرب استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج این پژوهش تفاوت ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند واکنش، کربنات‌کلسیم معادل و اندازه‌ی مواد آلی در کاربری‌های مختلف معنی‌دار بود. همچنین اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی و آلودگی سرب در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که در خاک های آبخیز شهری شیراز، اندازه‌ی سرب تحت تأثیر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی بود. در منطقه‌ی بررسی‌شده در کاربری‌های مختلف زمین ، روند آلودگی سرب به این گونه بود: زمین‌های مرتعی کوهستانی < باغ < پارک شهری < زمین‌های بایر.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری‌های مختلف زمین می‌توانند بر اندازه‌ی سرب تأثیرگذار باشند. با توجه به مشکل آلودگی خاک در آبخیزهای شهری و تأثیر مهم کاربری زمین در اندازه‌ی آن، انجام طرح‌های پژوهشی و توسعه‌ی شهری برای بررسی‌های دقیق کاربری زمین و ارتباط آن با دیگر ویژگی‌های محیطی از جمله آلودگی خاک پیشنهاد می‌شود. همچنین انجام پژوهش‌های بیشتر موضعی و موضوعی در زیست‌بوم‌های شهری بر تأثیر انواع گونه‌های گیاهی بر اندازه‌ی فلزهای سنگین در خاک بررسی شده پیشنهاد می‌شود تا با کاشت آن نوع پوشش گیاهی به آلودگی‌زدایی خاک کمک شود.

واژگان کلیدی: آبخیز شهری، سرب، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، کریجینگ

مقدمه

خاک، به‌عنوان یک محیط پیچیده و ناهمگن، از موجودات زنده، مواد معدنی، آب و هوا تشکیل شده است که به‌عنوان پایه‌ی ضروری زیست بوم‌های شهری، رابطه‌ی مستقیم و غیرمستقیم با کیفیت زندگی تمام ساکنان شهری دارد (میهای‌لوییج و همکاران ۲۰۱۵). برپایه‌ی بیانیه‌ی سازمان ملل که در سال ۲۰۱۶ منتشر شد، ۵۴/۵٪ از جمعیت جهان در منطقه‌های شهری زندگی می‌کنند و جمعیت شهرنشینان به‌طور پیوسته در حال افزایش است. افزون بر این، پیش‌بینی می‌شود که ۶۰٪ جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ در منطقه‌های شهری زندگی کنند. کیفیت محیط شهری بر کیفیت زندگی جامعه‌های انسانی شهری نیز مؤثر است. بنابراین در نظر گرفتن شرایط خاک هر منطقه در ارزیابی بهداشت و سلامت عمومی آن منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد (شکربیچ و همکاران ۲۰۱۸). آسیب‌ها و ناهنجاری‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در ساخت و سازهای نامتعارف در زیست‌بوم‌های آبی و خاکی باعث ایجاد خطرهای جدی برای سلامت و محیط زندگی آن‌ها می شود. نمونه‌هایی از این آسیب‌ها عبارت است از معدن‌کاری، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، دفن زباله، تغییرهای کاربری زمین، جنگل‌زدایی و فرسایش خاک (بارزین و همکاران ۲۰۱۵). توجه نکردن به مسائل و معیارهای زیست‌محیطی از یک سو و افزایش روزافزون جمعیت، فناوری و گسترش صنعت از سوی دیگر، باعث برهم خوردن تعادل در زیست‌بوم‌های خاکی شده است و آلودگی‌های زیست‌محیطی را ایجاد کرده است. بنابراین کسب اطلاعات از آلاینده‌های خاک و بررسی راهکار مناسب برای کاهش این مواد غیر قابل انکار است (شمالی و خداوردیلو ۲۰۱۲).

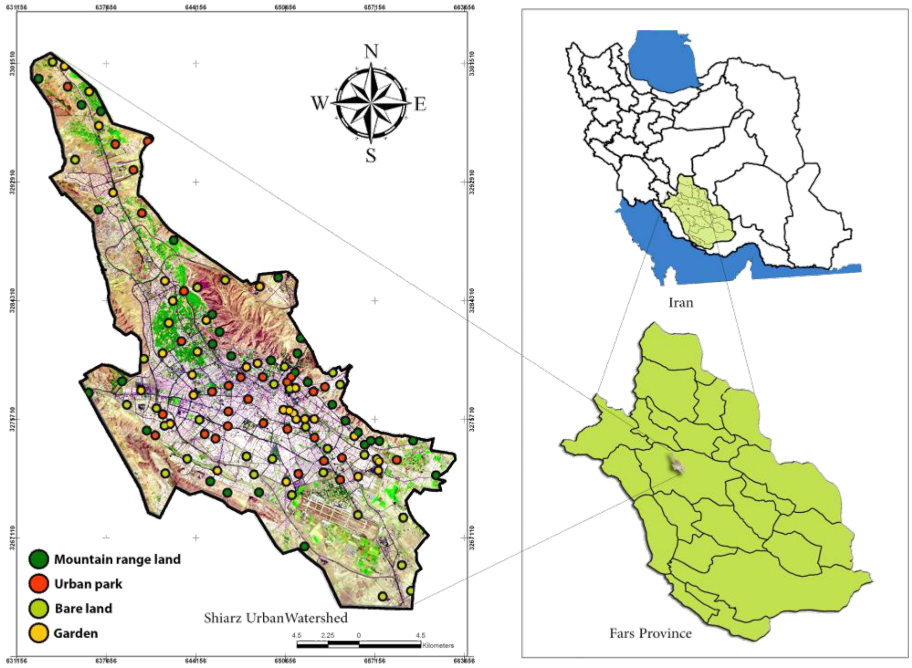
شهرنشینی عامل اصلی بروز برخی از پیامدهای منفی زیست‌محیطی از جمله آلودگی خاک به فلزهای سنگین و متالوئیدها است (روزمایکینا و همکاران ۲۰۲۱). آلودگی فلزهای سنگین به‌دلیل سمیت بالقوه، تجزیه‌ناپذیری و اثرهای اندام‌شناختی[1] آن بر موجودات زنده یکی از مهم ترین مشکلات زیست‌محیطی است (چنگ و همکاران ۲۰۱۴؛ اسلام و همکاران ۲۰۱۵). این فلزها عموماً به گروهی از عنصرهای میانی جدول تناوبی تعلق دارند که جرم حجمی آن‌ها بیش از ۵ میلی‌گرم بر متر مکعب است (وو و همکاران ۲۰۱۸). از نظر خطرهای زیست‌محیطی در محیط خاک و آب، مهم‌ترین فلزهای سنگین شامل کادمیوم (Cd)، آرسنیک (As)، کبالت (Co)، وانادیم

1 - physiology

(V)، روی (Zn)، جیوه (Hg)، آهن(Fe)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، کروم (Cr) و مس (Cu) هستند (کیشه و ماچیوا ۲۰۰۳). اندازه‌های فراوان فلزهای موجود در منابع‌طبیعی و مصنوعی، سبب مشکلات سمیت برای محیط‌زیست و خطرهای بالقوه برای سلامت انسان مانند انتقال به زنجیره‌ی غذایی و ایجاد بیماری‌های مختلف می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۸). منابع مهم آلاینده‌های خاک به‌ویژه فلزهای سنگین، ناشی از فعالیت‌های شهری و صنعتی انسان است. این فلزها قادرند تا در فاصله‌های طولانی‌تر به‌وسیله‌ی ذره‌های معلق در هوا به‌وسیله‌ی باد منتقل شوند. برخی از این فلزها ممکن است از راه رسوب از نیوار به خاک منتقل شوند. بنابراین خاک‌های موجود در پیرامون منطقه‌های صنعتی و شهری، مکان های مهمی برای جمع شدن این مواد به‌شمار می‌روند (وو و همکاران ۲۰۱۵). انجوی‌نژاد و کسرائیان (۲۰۱۴) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که اندازه‌ی آلودگی سرب موجود در خاک در مجاورت دو بزرگراه منتهی به کلان شهر شیراز به‌وسیله‌ی باد تعیین می‌شود. خطرهای انسانی و بوم‌شناختی فلزها در خاک‌ها براساس انواع کاربری‌های مختلف در یک محیط شهری در بنگلادش نشان داد که ضریب خطر فلز به ترتیب اولویت As <Cr <Pb <Cd <Ni <Cu روند کاهشی داشت (اسلام و همکاران ۲۰۲۰). بررسی رابطه‌ی متغیرهای مکانی میان فلزهای سرب و آلومینیوم در خاک‌های شهری لندن در مقیاس شهری با استفاده از وایازی وزنی جغرافیایی (GWR) نشان داد که رابطه‌های فضایی و مکانی میان سرب و آلومینیوم در خاک‌های شهر لندن تحت تأثیر نوع و شدت فعالیت‌های انسانی موجود در آن‌ها متفاوت است (یوآن و همکاران ۲۰۲۰). نبودن اطلاعات کافی از تأثیر کاربری‌های زمین و همچنین ویژگی‌های خاک بر اندازه‌ی آلودگی سرب در منطقه‌های شهری به‌ویژه در خاک‌های آبخیز شهری شیراز، از دلیل‌های اصلی انجام این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آبخیز شهری شیراز به‌عنوان بخشی از آبخیز دریاچه‌ی مهارلو، در بخش مرکزی شهرستان شیراز در استان فارس و جنوب ایران انجام شد. مساحت این آبخیز ۴۱۱۳۳ هکتار است و در موقعیت جغرافیایی UTM عرض شمالی ۶۶۲۳۹۰ تا ۶۳۲۶۴۳ و طول شرقی ۳۲۶۲۳۱۰ تا ۳۳۰۱۴۶۶ در منطقه‌ی جغرافیایی ۳۹ است (شکل ۱). در منطقه‌ی مطالعه‌شده وضعیت رطوبتی و دمایی خاک به‌ترتیب زریک و ترمیک است و سنگ‌شناسی بلندی‌های پیرامون منطقه عمدتاً آهکی و آهک دولومیتی است.



شکل ۱-موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده و جانمایی نقاط نمونه‌برداری خاک در کاربری‌های مختلف.

Figure 1- Location of study area and Soil sampling points in different landuses.

نمونه‌برداری و تجزیه‌ی فیزیکی و شیمیایی خاک

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، جمعاً ۱۲۰ نمونه‌ی سطحی (ژرفای ۲۰-۰ سانتی‌متر) شامل ۳۰ نمونه از هر یک از کاربری‌های چهارگانه شامل زمین‌های بایر، باغ، پارک شهری و زمین‌های مرتعی کوهستانی با استفاده از روش تصادفی-نظام مند(سیستماتیک) برداشت شد و موقعیت جغرافیایی آن‌ها به‌وسیله‌ی گیرنده‌ی سامانه‌ی موقعیت یاب جهانی (GPS) با مدل Garmin 62s ثبت شد (شکل ۱). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک در معرض هوا خشک شد. سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده روی خاک منطقه‌های مزبور شامل اندازه‌گیری توزیع اندازه‌ی ذرات خاک با روش هیدرومتر (روول ۱۹۹۴)، تعیین درصد کربنات‌کلسیم معادل (CCE) با خنثی‌سازی به‌وسیله‌ی HCl (لوپرت و سوارز ۱۹۹۶)، اندازه‌گیری کربن آلی (OC) با روش اکسیداسیون مرطوب (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، اندازه‌گیری واکنش خاک در گل اشباع، اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره‌ی گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی به‌طور مستقیم (رودز ۱۹۹۶) و در نهایت تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با روش جایگزینی کاتیون‌های قابل تبادل با استات‌سدیم و جایگزینی سدیم با استات‌آمونیوم بود (چپمن ۱۹۶۵). فرایند هضم اندازه‌ی سرب موجود در نمونه‌های خاک با روش Aqua regia (مخلوط اسید هیدروکلریک غلیظ و اسید نیتریک به نسبت ۱:۳) در دمای ^{0}C ۱۸۰ به مدت دو ساعت در حمام آب گرم (بن ماری) انجام شد و سپس به‌وسیله‌ی طیف‌سنج جذب اتمی، مدل Shimatzo AA-670 اندازه‌گیری شد (گولیا و همکاران ۲۰۰۷).

تحلیل داده‌ها

در منطقه‌ی مطالعه‌شده در کاربری‌های مختلف نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک با استفاده از آزمون ANOVA یک طرفه و نرم افزار SPSS16، مقایسه شد. به‌منظور بررسی آمار توصیفی ویژگی‌های خاک شامل شاخص‌های آماری مرکزی، توزیع داده‌ها، همچنین چولگی و کشیدگی داده‌ها از برنامه‌ی زمین‌آماری+ GS استفاده شد. پس از انجام آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای بررسی بهنجار بودن داده‌ها در نرم‌افزار SPSS16، بهنجارسازی داده‌های ناهنجار به‌وسیله‌ی نرم‌افزار+ GS انجام شد. در این پژوهش برای تهیه‌ی نقشه‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین اندازه‌ی سرب، از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 استفاده شد. در منطقه‌ی بررسی‌شده ابتدا سمی واریوگرام هر ویژگی تعیین شد و سپس ناهمسان‌گردی در تداوم مکانی داده‌های مزبور بررسی و سپس با استفاده از معادله‌ی ۱ واریوگرام تجربی هر ویژگی محاسبه شد (معادله ۱).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(xi) - z(xi + h)]_{,} \qquad (۱)$$

γ (h): اندازه‌ی سمی واریوگرام با فاصله‌ی h، N(h): تعداد جفت‌های نمونه‌ی استفاده‌شده برای محاسبه h برای هر فاصله h، z(xi): اندازه‌ی متغیر ناحیه‌ای در نقاط xi و z (xi + h) اندازه‌ی متغیر ناحیه‌ای در نقاط xi+h است.

برای تعیین بهترین روش برآوردگر افزون بر استفاده از نتایج محاسبه‌های زمین‌آماری به‌وسیله‌ی نرم‌افزار+ GS، با روش ریشه‌ی دوم کمترین میانگین خطای داده‌ها به‌عنوان یک سنجه‌ی مهم در تعیین روش برآوردگر نیز استفاده شد و سپس تغییرهای مکانی اندازه‌ی سرب و پهنه بندی دیگر ویژگی‌های مزبور خاک در کاربری‌های مختلف زمین به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ArcGIS 10.5 انجام شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی داده‌ها

چکیده‌ی آمار توصیفی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در جدول ۱ نشان‌داده شده است. همچنین، از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای اطمینان از توزیع بهنجار ویژگی‌های بررسی‌شده استفاده شد و نتایج با روش چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها بررسی شد. نتایج آزمون بهنجارسازی نشان داد که تمامی ویژگی‌های خاک بررسی‌شده به جز ویژگی‌های هدایت الکتریکی خاک (EC)، درصد رس خاک و ماده آلی توزیع بهنجار داشتند. همچنین اندازه‌ی سرب نیز توزیع بهنجار داشت. در منطقه‌ی مطالعه‌شده، واکنش خاک از ۷/۰۲ تا ۸/۷۷ با میانگین ۷/۷۰ متغیر بود، قابلیت هدایت الکتریکی از ۱۶/۳۲ -۰/۴۱ با میانگین ۲/۸۴ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. درصد اجزای بافت خاک شامل شن، لای (سیلت) و رس به‌ترتیب از ۲۱/۹۰ تا ۷۲/۶۰ با میانگین ۴۳/۶۱ و از ۱۸/۹۰ تا ۵۴/۱۰ با میانگین ۳۸/۴۶٪ و ۷/۶۰ تا ۳۳/۵۰ با میانگین ۱۷/۹۲٪ بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده بافت غالب خاک لوم (متوسط) بود. درصد اندازه‌های کربنات‌کلسیم معادل و درصد ماده‌ی آلی به‌ترتیب از ۳۱/۱۵ تا ۸۵/۸۲ با میانگین ۵۲/۷۴٪ و ۰/۰۲ تا ۶/۷۲ با میانگین ۳/۰۰٪ بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده

اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی از ۴/۵۸ تا ۲۰/۹۱ با میانگین ۱۲/۴۲ $cmol(+).kg^{-1}$ برآورد شد. اندازه‌ی سرب نیز از ۳/۴۹ تا ۱۵/۶۷ با میانگین ۷/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 1. Descriptive statistics of soil characteristics of the study area.

Soil Charectristics*	Min	Max	Mean	Standard Deviation	CV (a)	Skewness (b)	Kurtosis (b)	Kol-Smi Test (c)
pH	7.02	8.77	7.70	0.21	2.78	4.67	0.72	0.619
EC	0.46	16.32	2.84	2.16	76.19	13.11	2.96	0.001
Sand	21.90	72.60	43.61	10.05	23.04	0.18	0.20	0.809
Silt	18.90	54.10	38.46	5.48	14.24	1.41	-0.56	0.310
Clay	7.60	33.50	17.92	5.64	31.48	-0.65	0.36	0.009
CCE	31.15	85.82	52.74	7.29	13.83	2.81	0.62	0.225
OM	0.02	6.72	3.00	2.15	71.65	-1.50	0.10	0.008
CEC	4.58	20.91	12.42	3.97	31.93	-0.79	0.02	0.535
Pb	3.49	15.67	7.41	2.31	31.13	0.38	0.51	0.753

* واحدهای EC و CEC به‌ترتیب $dS.m^{-1}$ و $cmol(+).kg^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، CCE و OM بر حسب درصد است.

a: تفاوت بسیار کم. < ۱۰٪، تفاوت کم. ۲۰-۱۰٪، تفاوت متوسط ۳۰-۲۰٪، اختلاف زیاد >۳۰٪.

-2< Normal<2 :b Normal, sig>0.05:c

Note: The units of EC and CEC are $dS.m^{-1}$ and $cmol(+).kg^{-1}$, respectively ; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent. a: (Very low diff. < 0.1, Low diff. 0.1-0.2, Medium diff. 0.2-0.3, high diff. >0.3), b: -2< Normal<2, c: Normal, sig>0.05. Fe: Iron, Pb: Lead and Cd: Cadmium.

بررسی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک در منطقه‌ی بررسی‌شده

مدل برازش شده بر سمی‌واریوگرام تجربی و چکیده‌ی تحلیل زمین‌آماری ویژگی‌های خاک در جدول ۲ آورده‌شده است. مدل‌های به‌دست آمده شامل دو نوع مدل کروی و مدل نمایی بودند. مدل‌های واریوگرام ویژگی‌های خاک شامل واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، لای و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌شکل ناهمسان‌گرد و دیگر ویژگی‌های بررسی‌شده همسان‌گرد بودند. همچنین مدل واریوگرام اندازه‌ی سرب ناهمسان‌گرد بود. شعاع مؤثر ویژگی‌های خاک که بیان‌گر بیشترین فاصله‌ی مجاز برای نمونه‌برداری از خاک است و شدت تغییرها را می‌تواند در جهت‌های جغرافیایی نشان دهد از روند روبرو تبعیت می‌کردند: .

. pH> %CCE = OM> Silt> EC> Sand = Clay> CEC

شعاع مؤثر مشاهده‌شده برای اندازه‌ی سرب ۱۸۳ متر بود. نسبت C/C_0+C برای ویژگی‌های خاک از ۰/۵ تا ۰/۶۵ بود و برای اندازه‌ی سرب ۰/۶۳ بود. نسبت C_0/C_0+C برای ویژگی‌های خاک از ۰/۳۵ تا ۰/۵ و برای اندازه‌ی سرب ۰/۳۷ بود.

جدول ۲- مدل برازش سمی‌واریوگرام تجربی و چکیده‌ی تحلیل زمین آماری ویژگی‌های خاک.

Table 2- Experimental variogram fitting model and summary of geostatistical analysis of the soil characteristics.

Soil Charectristics*	Variogram Direction	Model	Nugget	Sill	Effective range (m)	C/C_0+C	$C0/C_0+C$	R2	RSS
pH	Anisotropic	Exponential	7×10^{-4}	2.01×10^{-3}	9087	0.65	0.35	0.22	1.41×10^{-4}
EC	Anisotropic	Exponential	0.36	0.87	770	0.59	0.41	0.26	0.22
Sand	Isotropic	Exponential	82.50	165.10	433	0.50	0.50	0.51	2389
Silt	Anisotropic	Spherical	28.08	79.58	774	0.65	0.35	0.25	1320.55
Clay	Isotropic	Exponential	24.80	49.61	433	0.50	0.50	0.59	186
CCE	Isotropic	Spherical	0.18	0.36	811	0.50	0.50	0.68	0.03
OM	Isotropic	Spherical	3.37	6.74	811	0.50	0.50	0.82	7.02
CEC	Anisotropic	Exponential	15.01	37.43	376	0.60	0.40	0.56	238.33
Pb	Anisotropic	Exponential	4.41	11.96	183	0.63	0.37	0.67	33.09

* واحدهای هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌ترتیب $dS.m^{-1}$ و $cmol(+).kg^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، کربنات‌کلسیم معادل و مواد آلی بر حسب درصد است.

Note: The units of EC and CEC are $dS.m^{-1}$ and $cmol(+).kg^{-1}$, respectively ; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent.

پهنه‌بندی رقومی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS

برای رسم نقشه و پهنه‌بندی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب، پس از تعیین بهترین مدل انتخابی برای هر ویژگی خاک و اندازه‌ی سرب، دو روش برآوردگر مختلف موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 شامل روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) و روش کریجینگ معمولی(Ord.k) استفاده شد (جدول ۳). برآوردگر IDW برای برآورد ویژگی‌های خاک شامل شن، لای، قابلیت هدایت الکتریکی و اندازه‌ی سرب بهترین روش انتخابی بود. دیگر ویژگی‌ها با روش کریجینگ دقیق‌تر برآورد شدند.

جدول ۳- مدل انتخابی برای پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب موجود در خاک با برآوردگرهای مختلف.

Table 3- Selective model for mapping soil charectristics and the amount of Lead with different estimators.

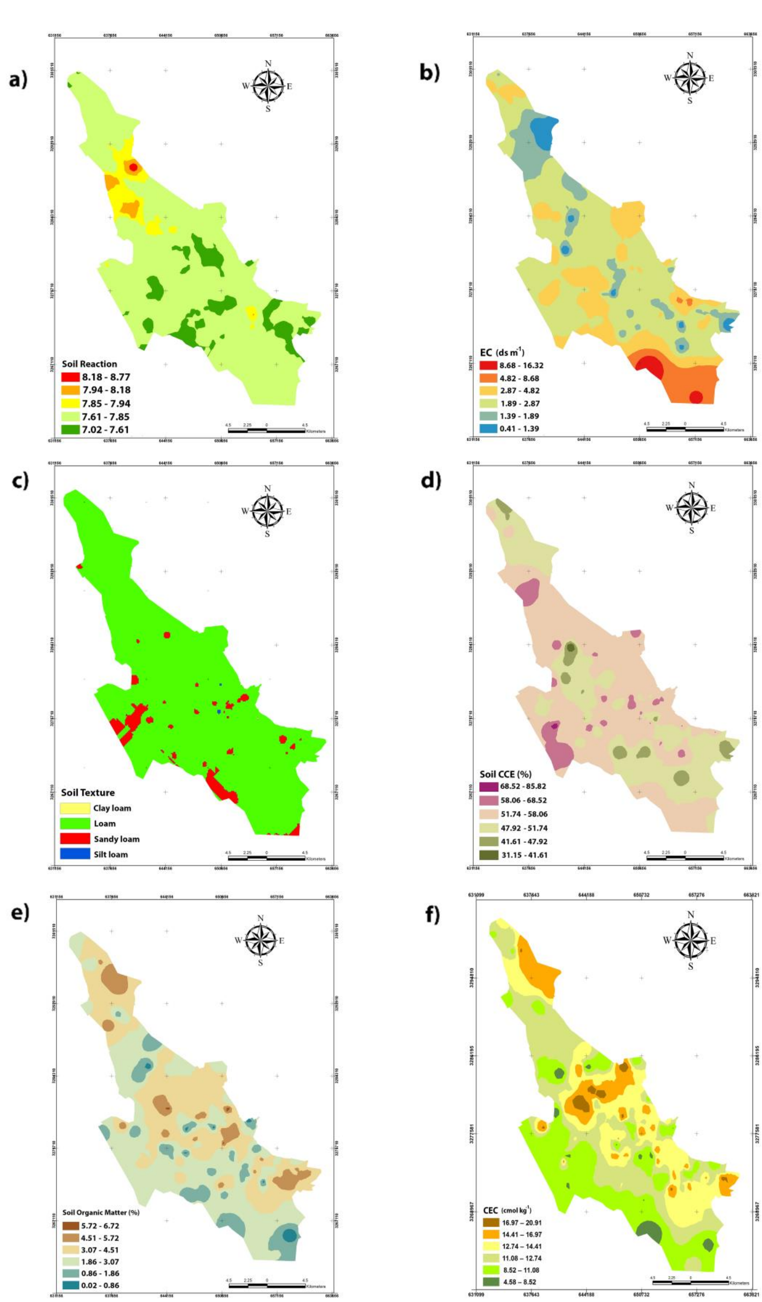
Soil Charectristics*	IDW		Kriging		Choosen model
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
pH	0.24	0.004	0.23	0.005	Kriging
EC	16.89	-0.37	17.11	0.25	IDW
Sand	10.63	0.04	10.70	0.15	IDW
Silt	6.04	-0.01	6.07	-0.01	IDW
Clay	5.71	-0.03	5.68	-0.08	Kriging
CCE	8.30	-0.38	8.28	-0.38	Kriging
OM	2.38	0.18	2.20	0.03	Kriging
CEC	4.20	0.19	3.98	-0.08	Kriging
Pb	1.36	0.02	39.48	-0.29	IDW

* واحدهای هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌ترتیب $dS.m^{-1}$ و $cmol(+).kg^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، کربنات‌کلسیم معادل و مواد آلی بر حسب درصد است. RMSE: میانگین خطای ریشه میانگین و MAE : میانگین خطای مطلق.

Note: The units of EC and CEC are $dS.m^{-1}$ and $cmol(+).kg^{-1}$, respectively ; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent
RMSE: Root Mean Square Error, MAE: Mean Absolute Error.

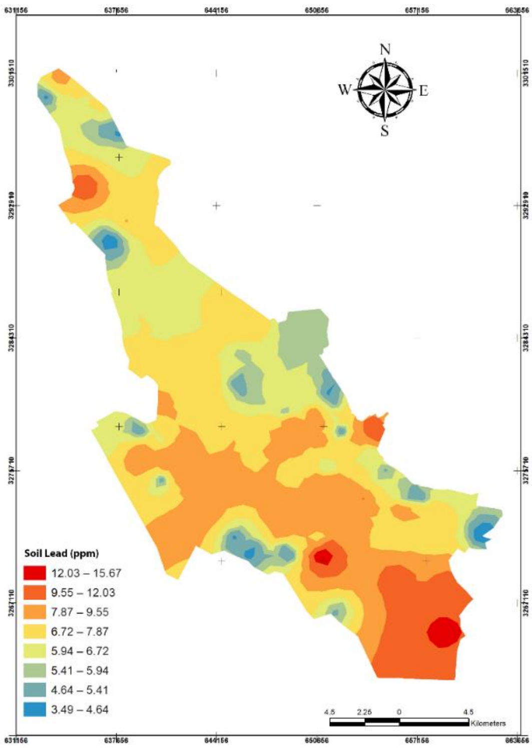
پهنه‌بندی رقومی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب

در منطقه‌ی مطالعه‌شده براساس نقشه‌های رسم‌شده به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ArcGIS 10.5، واکنش خاک نسبتاً قلیایی بود و روند یکنواختی داشت. با این وجود، در قسمت شمالی و مرکزی ناهمگنی جزئی مشاهده شد (شکل ۲a). در منطقه‌ی مطالعه‌شده اندازه‌های قابلیت هدایت الکتریکی خاک روند یکنواختی داشت اما بیشترین و کمترین اندازه‌ها به‌ترتیب در قسمت‌های جنوب‌شرقی و شمالی مشاهده شد. همچنین در قسمت‌های مرکزی، روند این خصوصیت ناهمگنی جزئی را نشان داد (شکل ۲b). ترکیب نهایی پهنه‌بندی ذرات خاک (بافت خاک) در شکل ۲c نشان‌داده شده است. در منطقه‌ی مطالعه‌شده بافت غالب خاک، لوم (متوسط) بود. درصد کربنات‌کلسیم معادل نسبتاً زیاد بود و بیشتر در بخش‌های مرکزی منطقه مشاهده شد، اما درصدهای کم‌تر در بخش‌های غربی، شمالی و جنوب‌شرقی مشاهده شد (شکل ۲d). اندازه‌ی مواد آلی خاک از ۱/۸۶ تا ۳/۰۸٪ متغیر بود (شکل e۲). همچنین، در سراسر منطقه کمترین و بیشترین اندازه‌ی این ویژگی به‌شکل ناهمگن، پراکنده بودند. در سرتاسر منطقه پهنه‌بندی تغییرهای مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی روند ناهمگنی داشت. در منطقه‌ی مطالعه‌شده قسمت های شمالی و جنوب‌شرقی و همچنین بخش‌های مرکزی به سمت شرقی، ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌های بیشتری داشت (شکل ۲f). در قسمت‌های جنوبی و جنوب‌شرقی منطقه اندازه‌ی سرب بیشتر بود، در حالی که در قسمت‌های شمالی اندازه‌های کمتر مشاهده شد. دلیل آن می‌تواند اختلاف بلندی، شیب غالب و کشیدگی شمالی جنوبی منطقه در راستای ذکر شده، جریان‌های سیلابی، حمل خاک سطحی و رسوب‌ها و آلودگی‌های بالادست به منطقه‌های پایین‌دست باشد. آنچنان که این بخش از منطقه از نظر واحد گیتاشناسی نیز عمدتاً در اجزاء واحد زمین دشت آبرفتی رودخانه‌ای است که حاصل سالیان متمادی فعالیت رود خشک شیراز و رود میان‌رود (چنار راهدار) و هم‌افزایی و تلاقی نهایی آنها در حاشیه‌ی دریاچه‌ی مهارلو است (شکل ۳).



شکل ۲-پهنه‌بندی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک. 2a: واکنش خاک، 2b: قابلیت هدایت الکتریکی، 2c: بافت خاک، 2d: کربنات‌کلسیم معادل، 2e: مواد آلی، 2f: ظرفیت تبادل کاتیونی.

Figure 2- Mapping of spatial variability of soil charectristics. 2a: pH, 2b: EC, 2c: Texture 2d: CCE, 2e: OM, 2f: CEC.



شکل ۳- پهنه‌بندی اندازه‌ی سرب خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده.
Figure 3- Mapping of soil Lead amount of study area.

اثر کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب

تجزیه و تحلیل توصیفی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در ارتباط با کاربری زمین در جدول ۴ نشان‌داده شده است. کاربری‌های بررسی شده شامل زمین‌های بایر، زمین‌های مرتعی کوهستانی، پارک شهری و باغ بود. روند افزایشی واکنش خاک در کاربری زمین به‌شکل زمین های بایر< زمین‌های مرتعی کوهستانی < باغ < پارک شهری بود. اندازه‌ی قابلیت هدایت الکتریکی خاک در زمین‌های مختلف به‌شکل زمین‌های مرتعی کوهستانی <باغ < پارک شهری < زمین‌های بایر بود. روند درصد شن در کاربری زمین‌های به‌شکل پارک شهری< باغ < زمین‌های بایر = زمین‌های مرتعی کوهستانی بود. روند اندازه‌ی درصد لای به‌شکل کاربری زمین‌های مرتعی کوهستانی < باغ < زمین‌های بایر < پارک شهری بود. همچنین، روند درصد خاک رس به‌شکل زمین‌های‌بایر<باغ<زمین‌های‌مرتعی‌کوهستانی<پارک‌شهری بود. این یافته‌ها را می‌توان به تغییرها و جابجایی‌های مختلف خاک در محیط‌های شهری برای انجام امور مختلف از جمله احداث فضای سبز نسبت داد، در حالی که اندازه‌ی کربنات‌کلسیم معادل در کاربری‌های مختلف زمین به‌شکل باغ <پارک شهری<زمین‌های بایر <زمین‌های مرتعی کوهستانی بود. در خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده روند درصد مواد آلی به‌شکل زمین‌های بایر< زمین‌های مرتعی کوهستانی < پارک شهری< باغ مشاهده شد. روند اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک زمین مزبور به‌شکل کاربری زمین‌های بایر< زمین‌های مرتعی کوهستانی< پارک شهری< باغ بود. روند اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک زمین مزبور به‌شکل کاربری زمین‌های بایر< زمین‌های مرتعی کوهستانی< پارک شهری< باغ بود، که این یافته‌ها را می‌توان به تفاوت در نوع رس‌ها و همچنین به اندازه‌ی ماده‌ی آلی خاک نسبت داد. با توجه به شکل ۴، میانگین واکنش خاک، کربنات‌کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی در کاربری‌های زمین تفاوت معنی‌داری داشتند ($p<0/05$). در کاربری های مختلف، اندازه‌ی سرب چنین روندی داشت: زمین‌های مرتعی کوهستانی <باغ <پارک شهری< زمین‌های بایر. همچنین اندازه‌ی سرب در ارتباط با کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نشان داد ($p<0/05$).

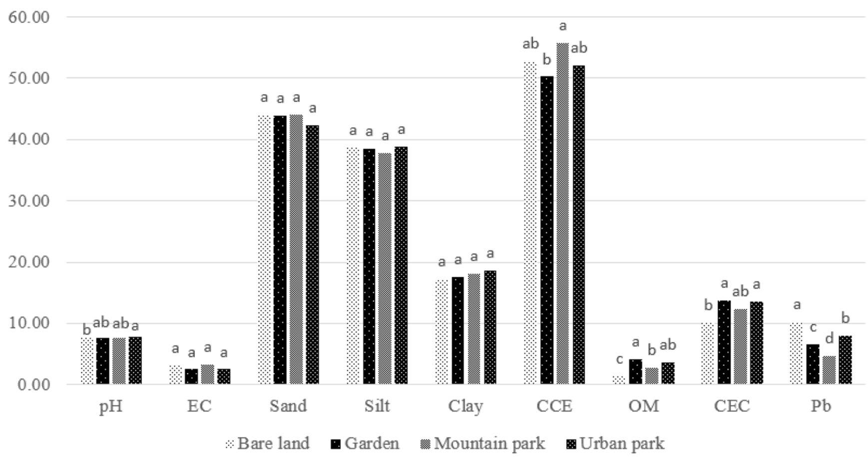
جدول ۴- تحلیل توصیفی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در رابطه با کاربری زمین.

Table 4- Descriptive analysis of soil charectristics and Pb amount in relation to land use.

Soil Charectristics*	Bare			Garden			Mountain range land			Urban parks		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
pH	7.02	7.94	7.60	7.45	7.97	7.71	7.22	8.13	7.69	7.48	8.77	7.79
EC	0.54	16.32	3.23	0.68	6.59	2.52	0.46	8.75	2.51	0.96	9.36	3.09
Sand	23.60	72.60	44.09	21.90	59.40	43.86	22.80	68.30	44.10	25.90	65.10	42.39
Silt	18.90	49.00	38.78	29.70	54.10	38.48	24.10	46.90	37.75	25.50	47.70	38.81
Clay	8.50	29.10	17.17	10.90	28.70	17.66	7.60	33.50	18.15	9.40	29.00	18.70
CCE	39.25	65.57	52.85	31.15	65.57	50.25	38.15	85.82	55.72	42.08	65.57	52.16
OM	0.05	5.76	1.34	0.01	6.50	4.21	0.07	6.72	2.79	0.03	5.86	3.64
CEC	5.14	18.53	10.08	7.40	20.04	13.72	4.58	20.27	12.30	6.32	20.91	13.57
Pb	8.47	15.67	10.33	5.02	7.98	6.63	3.49	6.11	4.68	6.58	9.80	8.01

* واحدهای قابلیت هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌ترتیب $dS.m^{-1}$ و $cmol(+).kg^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، کربنات‌کلسیم معادل و مواد آلی بر حسب درصد است.

Note: The units of EC and CEC are $dS.m^{-1}$ and $cmol(+).kg^{-1}$, respectively ; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent.



* میانگین با حروف مختلف در سطح ۵ ٪ به‌طور معنی‌دار متفاوت است ($P<0.05$).

Means followed by different letters are significantly different at ($P<0.05$).

شکل ۴- مقایسه‌ی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در رابطه با کاربری‌های مختلف.

Figure 4- Comparison of soil charectristics and Lead amount in relation to different land uses.

رابطه‌ی میان ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب

درصد همبستگی میان ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در جدول ۵ نشان‌داده شده است. از میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اندازه‌های ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی خاک با اندازه‌ی سرب خاک در سطح یک درصد همبستگی منفی و معنی‌دار داشتند ($p<۰/۰۱$) این یافته بیان‌گر این است که با افزایش این دو ویژگی خاک، اندازه‌ی سرب اندازه‌گیری شده در خاک‌های مختلف کمتر بود و می‌تواند دلیل آن نگهداری ترکیبات سرب به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی خاک باشد و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر نیز می‌تواند با ایجاد بار الکتریکی بیشتر در جذب سطحی سرب در سطح ذره‌های رس مؤثر

جدول ۵- همبستگی میان اندازه‌ی سرب و دیگر ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 5- Correlation between Lead and other soil charectristics of study area.

	pH	EC	CCE (%)	CEC	OM (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
Pb	0.077	0.038	-0.124	-0.240**	-0.307**	-0.062	-0.029	0.020

EC: قابلیت هدایت الکتریکی، CCE: کربنات‌کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، OM: اندازه‌ی مواد آلی.

*: همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. **: همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

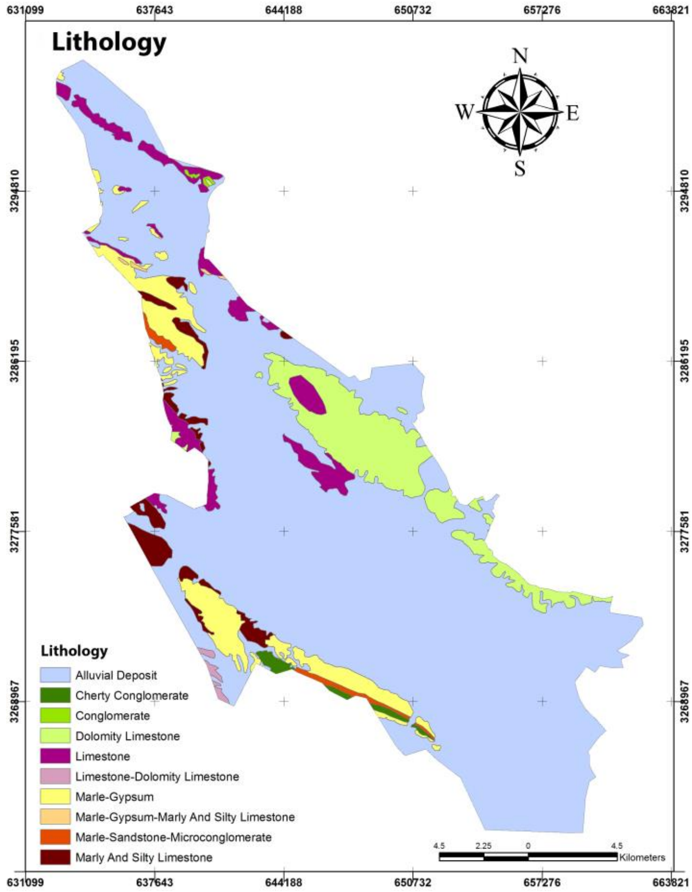
EC: Electric Conductivity; CCE: Calcium Carbonate Equivalent; CEC: Cation Exchange Capacity; O.M: Organic Matter.
*: Correlation is significant at the 0.05 level. **: Correlation is significant at the 0.01 level.

باشد.

آمار توصیفی داده‌ها

واکنش خاک (pH) زمین‌های منطقه‌ی مطالعه‌شده از خنثی تا کمی قلیایی بود که می‌تواند تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه (سنگ‌های مادری) در فرآیندهای تشکیل خاک باشد. نقشه‌ی پهنه‌بندی واکنش خاک در شکل a۲ نشان‌داده شده است. براساس نقشه‌ی سنگ‌شناسی (شکل ۵)، قسمت‌های شمالی منطقه‌ی مطالعه‌شده به‌طور عمده به‌وسیله‌ی سازندهای گچساران بالادست که شامل سنگ آهک و مارن است، احاطه شده است بنابراین واکنش خاک در این قسمت ها بیشتر بود، اما بخش‌های دیگر عمدتاً از رسوب‌های حاوی رس، لای و شن تشکیل شده‌اند. همچنین، وجود سازند گچساران پایین دست و رسوب‌های سیلابی سبب شده است که اندازه‌ی واکنش خاک به‌طور یکنواخت در مقیاس بزرگتر در کل منطقه نسبتاً خنثی باشد (شکل ۵). همچنین نباید از انتقال خاک از نقاط مختلف در منطقه‌ی مطالعه شده غافل شد.

اگر چه اندازه‌های قابلیت هدایت الکتریکی در بخش گسترده‌ای از منطقه‌ی مطالعه‌شده متوسط بود و تقریباً مشکل شوری مشاهده نشد ولی با این وجود، بخش‌های جنوب‌شرقی شهر شیراز به‌دلیل قرار گرفتن در محدوده تحت تأثیر نهشته‌های دریاچه‌ی شور مهارلو با مشکلات پرشمار شوری مواجه بود. افزون بر این، اندازه‌های زیاد قابلیت هدایت الکتریکی در برخی از قسمت‌های منطقه مشاهده شد که ممکن است دلیل آن انتقال خاک از دیگر مکان‌ها به‌منظور احداث فضای سبز شهری باشد. بافت خاک منطقه بیشتر از گروه لومی یا متوسط بود هر چند با تأثیر غالب ویژگی‌های ذرات شن، لای و رس، دیگر بافت‌های خاک نیز ممکن است در کاربری‌های مختلف زمین یافت شوند. با توجه به اندازه‌ی کربنات‌کلسیم معادل در خاک‌های منطقه می‌توان این خاک‌ها را به‌عنوان خاک‌های با آهک زیاد طبقه‌بندی کرد (هازلتون و مورفی ۲۰۱۶). اندازه‌های زیاد آهک تأثیرات چشمگیری بر دیگر ویژگی‌های مهم خاک مانند واکنش، ظرفیت تبادل کاتیونی و درنهایت حاصل‌خیزی خاک دارد که نیاز به مدیریت خاص است. در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک اندازه‌ی ماده آلی خاک عمدتاً کم بود. درصد مواد آلی خاک سطحی در منطقه‌ی مطالعه‌شده کم تا متوسط بود که بیشترین اندازه‌ی آن در زمین باغ‌ها و پارک‌ها مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل بازگشت بخش بزرگی از زی‌توده‌ی گیاهی در اثر خزان درختان و مصرف کودهای آلی به خاک باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک منطقه نیز اندازه‌ی کمی داشت که با اندازه‌ی ماده آلی خاک همخوانی داشت. براساس تغییر ضریب‌ها، در سراسر منطقه تغییرهای واکنش خاک بسیار جزیی بود که می‌تواند تحت تأثیر اندازه‌های زیاد و تغییرهای ناچیز در اندازه‌ی آهک خاک در منطقه باشد (جدول ۱). تغییرهای درصد ذره‌ی لای خاک نیز کم بود در حالی که تغییرهای درصد ذرات رس و شن خاک و اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی متوسط بود. تغییرهای مواد آلی و قابلیت هدایت الکتریکی زیاد بود. یافته‌ها این پژوهش نشان داد که تغییر ویژگی‌های خاک می‌تواند هم از راه ماهیت مواد مادری و هم تحت تأثیر نوع مدیریت خاک باشد. همچنین مشاهده‌ها و نتایج نشان داد که مدیریت یا نوع کاربری زمین معمولاً تأثیر بیشتری در تغییر ویژگی‌های خاک منطقه‌های مختلف آبخیز شهری شیراز داشت و باعث ایجاد تغییرهای گسترده‌ای در ویژگی‌های خاک شد و به این دلیل در طبقه‌بندی ارائه شده به‌وسیله‌ی فائو برای خاک‌ها، گروه‌های مرجع تکنوسول (Technosols) و آنتروسول (Anthrosols) به‌عنوان خاک‌هایی با تغییرهای بسیار زیاد و تقریباً غیرقابل توجیه به‌وسیله‌ی فرآیندهای معمول در تشکیل خاک‌های منطقه‌های شهری شناخته شدند (فائو ۲۰۱۵).



شکل ۵- سنگ‌شناسی منطقه‌ی مطالعه‌شده

Figure 5- Lithology of study area.

سمیت بالقوه، تجزیه‌ناپذیری و اثرهای اندام‌شناختی روی موجودات زنده از ویژگی‌های مهم آلودگی فلزهای سنگین به‌شمار می‌رود که سبب شده است این فلزها به‌عنوان منابع اصلی در ایجاد آلودگی‌های محیطی به‌شمار روند (اسلام و همکاران ۲۰۱۵). میانگین آلودگی سرب در معیارهای ایالات متحده، اتحادیه اروپا، بریتانیا و سازمان جهانی بهداشت برای محدوده‌ی بهداشتی ایمن در جدول ۶ نشان‌داده شده است (هونگ و همکاران ۲۰۱۴؛ آسماو و آن هانگ ۲۰۱۲؛ نانجیا ۱۹۹۱). در منطقه‌ی مطالعه‌شده تغییرهای زیاد اندازه‌ی سرب به‌دلیل تغییرهای محیطی، قابل توجه بود و ممکن است تحت تأثیر مدیریت کاربری زمین مانند حفاظت از کاربری‌ها با پوشش گیاهی باشد (جدول ۱). به منظور انجام بررسی‌های زمین‌آماری ویژگی‌های انتخابی خاک و اندازه‌ی سرب، لازم بود تا توزیع داده‌های به‌دست آمده به‌شکل توزیع بهنجار باشد. بنابراین، از تابع‌های لگاریتمی برای بهنجارکردن این داده‌ها استفاده شد (ارشاهین ۲۰۰۳).

جدول ۶- بیشینه‌ی محدوده‌ی مجاز برای فلزهای سنگین در خاک.

Table 6- Maximum permissible range for heavy metals in soil.

Heavy Metals mg.kg^{-1}	EU STD* mg.kg^{-1}	UK STD mg.kg^{-1}	US STD mg.kg^{-1}	WHO mg.kg^{-1}
Fe	-	-	-	-
Zn	300	200	200-300	16-60
Hg	-	-	-	0.001-0.04
Cu	140	63	80-200	1-12
Cd	3.0	1.4	400	0.002-0.5
Cr	180	6.4	400	0.002-0.2
Pb	300	70	300	0.3-10
Ni	-	-	-	0.1-5

EU = اروپا، *UK = بریتانیا، *US = ایالات متحده، *WHO=سازمان بهداشت جهانی، *STD = معیار (Hong et al., 2014; Asemave and Anhwange 2012; Nangia 1991).

EU = Europe, *UK= United Kingdom, *US = United States, *WHO = World Health Organization, *STD = Standard. (Hong et al., 2014; Asemave and Anhwange 2012; Nangia 1991).

بررسی تغییرهای مکانی

چکیده‌ی تجزیه و تحلیل زمین‌آماری ویژگی‌های بررسی‌شده و مدل برازش سمی‌واریوگرام تجربی در جدول ۲ نشان‌داده شده است. جهت جغرافیایی واریوگرام بیان‌گر همگنی تغییرهای متغیر در منطقه‌ی مطالعه‌شده بود. اصطلاح ناهمسان‌گرد زمانی استفاده می‌شود که ناهمگنی یک متغیر در جهت‌های مختلف جغرافیایی مشاهده شود. در این شرایط، مشاهده‌ی واریوگرام‌های مختلف در جهت‌های متفاوت به‌دلیل تفاوت در محدوده‌های مؤثر است. از میان ویژگی‌های خاک بررسی‌شده، قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش خاک، لای و ظرفیت تبادل کاتیونی واریوگرام ناهمسان‌گرد داشتند. که این یافته به‌دلیل مدیریت متفاوت خاک‌های آبخیزهای شهری در طول دوره‌های زمانی متفاوت قابل قبول بود. همچنین، اندازه‌ی سرب واریوگرام ناهمسان‌گرد داشت که این یافته با اندازه‌ی کربنات‌کلسیم موجود در منطقه‌ی مطالعه‌شده مغایرت داشت. دلیل آن می‌تواند این باشد که در خاک‌های آهکی، آلودگی سرب همانند دیگر فلزهای سنگین به‌علت تحرک پایین این عنصر، کمتر به ژرفای خاک منتقل شده و از این رو امکان مهار حرکت آن به‌وسیله‌ی سرعت و جهت باد فراهم می‌شود (طالب و همکاران ۲۰۱۹؛ انجوی نژاد و کسرائیان ۲۰۱۴). نسبت همسان‌گرد فضایی $(C/C_0 + C)$ نشان‌دهنده‌ی استحکام ساختار متغیرهای مکانی است. بنابراین، هر چه ساختار مکانی قوی‌تر باشد، اندازه‌ی کسر مزبور به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود. گروه تغییرپذیری فضایی $(C_0/C0 + C)$ نیز برای تأیید درجه‌ی وابستگی متغیرهای مکانی استفاده می‌شود. اگر وابستگی مکانی برای یک متغیر شدید باشد، این نسبت کمتر از ۰/۲۵ خواهد بود، در حالی که اگر وابستگی مکانی متوسط باشد، این نسبت ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ متغیر می‌باشد. همچنین، در شرایطی این وابستگی مکانی ضعیف درنظر گرفته خواهد شد که این نسبت بیشتر از ۰/۷۵ شود (دیزاین ۲۰۰۴). با توجه به نتایج جدول ۲، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ساختار مکانی و وابستگی مکانی متوسط داشتند. همچنین، اندازه‌ی سرب نیز ساختار فضایی و وابستگی مکانی متوسط داشت. وجود این وابستگی مکانی یا فضایی شدید را می‌توان به عامل‌های ذاتی خاک مانند ماده‌ی مادری، بافت خاک، پستی‌بلندی و پوشش گیاهی مرتبط دانست. برعکس، وابستگی مکانی نسبتاً ضعیف و بسیار ضعیف به عامل‌های بیرونی خاک، مانند کوددهی، شیوه‌های کشت و دیگر رفتارهای مدیریتی مربوط است (وانگ و همکاران ۲۰۰۹؛ یه و همکاران ۲۰۱۸). در این پژوهش، وابستگی متوسط مشاهده شده میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اندازه‌ی سرب، تأییدکننده‌ی تغییر ویژگی‌های خاک شهری تحت تأثیر عامل‌های بیرونی بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده شعاع مؤثر ویژگی‌های خاک نشان داد که در اقلیم‌های نیمه‌خشک می‌توان اندازه‌های اسیدیته‌ی خاک، کربنات‌کلسیم معادل، مواد آلی و قابلیت هدایت الکتریکی خاک را با نمونه‌برداری در فاصله‌های طولانی‌تر بررسی کرد. اندازه‌های کم شعاع مؤثر به‌دست آمده برای ظرفیت تبادل کاتیونی و بافت خاک می‌تواند به‌دلیل ناهمگنی موجود در خاک‌ها ناشی از انتقال خاک از دیگر مکان‌ها باشد. در نتیجه، اثر استفاده از خاک های درجا و منتقل‌شده در منطقه‌های شهری منجر به تغییرهای جدی در آن‌ها می‌شود.

پهنه‌بندی رقومی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب

بهترین مدل برای بررسی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب، مدلی است که کمترین میانگین خطای مطلق و خطای ریشه میانگین مربعات را داشته باشد. بنابراین در این پژوهش و براساس نتایج جدول ۳، روش کریجینگ کاربرد مناسب‌تری در برآورد ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب داشت. این بدان معنا نیست که در دیگر پژوهش‌ها نیز این برآوردگر برتری دارد، زیرا ممکن است نتایج متفاوتی با سنجه‌های مشابه در دیگر منطقه‌ها به‌دست آید.

در سراسر منطقه اندازه‌های واکنش خاک نسبتاً قلیایی با روند یکنواخت تحت تأثیر مواد ذاتی خاک که از سنگ‌های مادری آهکی منشأ گرفته بودند، مشاهده شد (شکل ۲). اندازه‌های زیاد pH اندازه‌گیری شده در قسمت‌های شمالی به‌دلیل وجود سنگ‌های مادری با آهک فراوان بود. تغییر منظم قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌تواند به‌دلایلی مانند منشأ مواد اولیه‌ی خاک، کیفیت آب آبیاری یا آب زیرزمینی و نبودن تعادل در نمک‌های محلول خاک در نتیجه‌ی کوددهی و مدیریت نامناسب خاک بوده باشد. در این پژوهش، اندازه‌های زیاد قابلیت هدایت الکتریکی در بخش‌های جنوبی به‌دلیل نهشته‌های خاکی متأثر از موقعیت دریاچه‌ی شور مهارلو و رخداد پیوسته‌ی سیلاب‌ها بود. در منطقه وجود بافت لومی با روند نسبتاً یکنواخت به‌دلیل سنگ‌شناسی سنگ‌های مادری قابل پیش‌بینی بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده درصد کربنات‌کلسیم نیز عمدتاً به‌دلیل سازندهای زمین‌شناسی و مواد مادری

سنگ‌ها بود که در نتیجه توزیع نسبتاً یکنواختی در سراسر منطقه داشت. سنگ‌های رسوبی مانند کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌ها با ماهیت ذاتی عمدتاً درشت دانه بودن توانست بر بیشتر رفتارهای خاک آبخیز شهری شیراز اثر گذار باشد. در منطقه‌ی مطالعه‌شده ویژگی‌های خاک به‌طور گسترده تحت تأثیر رسوب‌های آبرفتی بود که چنین مشاهده هایی قابل انتظار بود. نقشه‌ی پراکنش مواد آلی نشان‌دهنده‌ی غیر یکنواخت بودن مواد آلی در کاربری‌های مختلف زمین بود که ناشی از انتقال خاک در منطقه‌های مختلف آبخیز شهری شیراز و کشت گیاهان در سالیان پیوسته برای گسترش فضای سبز بوده است. براساس نقشه‌ی رقومی کربنات‌کلسیم معادل، اندازه‌های این ویژگی عمدتاً به‌دلیل تغییر کاربری‌های زمین نقاط نمونه‌برداری و اندازه‌های مختلف رس خاک و مواد آلی موجود در آن‌ها تغییر یافته است.

به‌طور کلی، تشکیل خاک‌های شهری تحت تأثیر اثرهای مستقیم و غیرمستقیم انسان است که منجر به ایجاد ویژگی‌ها و فرآیندهای خاصی می‌شود (یانگ و ژانگ ۲۰۱۵). اثرهای غیرمستقیم انسان شامل اثر بر عامل‌های تشکیل دهنده‌ی خاک، تغییر اندوخته‌ی مواد آلی، نیتروژن، دما و رطوبت خاک است (لورنز و لال ۲۰۱۵؛ اسمگین و همکاران ۲۰۱۲؛ ساووا و همکاران ۲۰۱۰). ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز تحت تأثیر شدت فعالیت‌های انسان که بیش از حد معمول است مانند تراکم رفت و آمد و ساخت و سازها می‌باشد. ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند قابلیت هدایت الکتریکی و تغییرهای واکنش خاک عمدتاً ثبات بیشتری دارند (واسنو و همکاران ۲۰۱۸). نقشه‌برداری رقومی اندازه‌ی سرب خاک نشان داد که آمد و شد خودروها در منطقه‌های شهری شیراز، می‌تواند توزیع این فلز سنگین را در بخش‌های مختلف بررسی‌شده تحت تأثیر قرار داده باشد. آلودگی سرب می‌تواند در منطقه‌های شهری به‌دلیل انتقال جوی مواد آلی حاوی سرب مانند تترا اتیل و تترا متیل سرب به‌وجود آید (انجوی‌نژاد و کسرائیان ۲۰۱۴). نتایج این پژوهش نشان داد که خاک‌های شهری شیراز، منبع اصلی آلودگی فلزهای سنگین به-ویژه سرب بود و هر چند که این عنصر به‌طور کلی در خاک و به‌ویژه در خاک‌های آهکی تحرک کمی دارد اما می‌تواند در شرایط فراهم شدن زمینه‌ی انتقال، از راه آب‌های زیرزمینی، گرد و غبار و زیست‌توده‌ی گیاهی و ورود به بدن انسان، کیفیت زندگی شهروندان را تحت تأثیر قرار دهد (پالتسوا ۲۰۲۰).

اثر کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب

در این پژوهش منشأ تغییرهای مشاهده شده در اندازه‌های pH خاک، عامل‌هایی مانند ترشحات ناحیه‌ی ریشه، نوع و اندازه‌ی کوددهی، نوع نمک‌های محلول در خاک سطحی، وجود CO_2 و انتقال خاک در منطقه‌های مختلف بود. اندازه‌های کمتر قابلیت هدایت الکتریکی در نقاط با پوشش گیاهی بیشتر مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل جذب نمک‌های محلول به‌وسیله‌ی گیاهان در طول زمان باشد. مشاهده‌ی روند کلی تغییرهای عمده‌ی پراکنش ذرات تشکیل دهنده‌ی خاک سطحی در زمین‌های مختلف به‌دلیل کشت گیاهان و انجام فعالیت‌های انسانی برای رشد گیاهان بود. درصد کربنات‌کلسیم معادل در کاربری زمین با پوشش گیاهی، کمتر از دیگر نقاط بود که دلیل آن می‌تواند جایگزنی خاک‌های عمدتاً آبرفتی با درصد آهک کمتر در محل کاشت این گیاهان در مقایسه با دیگر نقاط با آهک بیشتر باشد که اقدامی مرسوم در طرح‌های احداثی فضای سبز شهری شیراز است.

نتایج تغییرهای منطقی در مواد آلی خاک با کاربری‌های مختلف در منطقه‌ی مطالعه‌شده بر این اصل استوار است که در ناحیه‌هایی که پوشش گیاهی مناسب وجود دارد، اندازه‌ی مواد آلی نیز افزایش خواهد یافت. درصد مواد آلی و اندازه‌ی رس خاک دو عامل مهم مهارکننده‌ی تغییرهای ظرفیت تبادل کاتیونی خاک هستند. توزیع این ویژگی با عامل‌های مزبور همخوانی داشت. به‌طور کلی، در خاک سطحی شهری، تغییرهای مکانی کربن آلی عمدتاً با کاربرد معیارها و شیوه‌های احداث و مدیریت خاک برای منطقه‌های سبز پایدار با ماده‌ی آلی زیاد (با پوشش گیاهی) و منطقه‌های مسکونی (بدون پوشش گیاهی) رابطه‌ی مستقیم دارد (ویسرت و همکاران ۲۰۱۶؛ شچپلوا و همکاران ۲۰۱۷). افزون بر این، کیفیت خاک‌های شهری می‌تواند تحت تأثیر برخی از عامل‌ها مانند مواد اولیه، کاربری زمین، نوع و شدت مهار فعالیت‌های انسانی، بافت و واکنش خاک باشد (یانگ و ژانگ ۲۰۱۵؛ واسنو و همکاران ۲۰۱۸). یافته‌های این پژوهش با فرآیندهای مزبور همخوانی و مطابقت داشت. در منطقه‌های شهری اقدام‌های مدیریت خاک و همچنین انتقال خاک از مکان‌های خاص به‌منظور بهبود وضعیت بسترهای کشت، تأثیر ویژه‌ای بر مواد آلی و واکنش خاک دارد از این رو مشاهده‌ی تفاوت معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) میان کاربری‌های مختلف زمین منطقی بود.

با توجه به اینکه از یک سو اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با درصد مواد آلی و اندازه‌ی رس ارتباط داشت و از سوی دیگر درصد آهک به‌شکل موروثی ویژگی‌های خاک را مهار می‌کند، این احتمال وجود دارد که در کاربری مختلف با اندازه‌های یکسان کربنات‌کلسیم معادل و پوشش گیاهی متفاوت بتوان تفاوت معنی‌داری میان

ویژگی‌های خاک مشاهده کرد.

وجود اختلاف معنی‌دار در اندازه‌ی سرب ($p<0/05$) میان کاربری‌های مختلف می‌تواند به‌دلیل بار ترافیکی زیاد در این مکان‌ها باشد. دلیل دیگر این یافته، می‌تواند ناشی از اختلاف بلندی و نزولات جوی غیر یکنواخت در نقاط مختلف منطقه باشد. زمین‌های بایر در مقایسه با منطقه‌هایی با پوشش گیاهی انبوه (به‌دلیل جذب بارش‌ها روی برگ‌های گیاه به جای خاک)، اندازه‌های بیشتری از آلودگی سرب را نشان دادند. عمدتاً نزدیکی و مجاورت پارک‌های شهری به مراکز حمل و نقل و کمتر بودن پوشش گیاهی آنها در مقایسه با باغ‌ها، دلیل مشاهده چنین روندی بود. همچنین تغییرهای کاربری چند سال اخیر و تبدیل باغ‌های محلی یا زمین‌های بایر به پارک‌های شهری به‌منظور گسترش فضای سبز باعث شد تا پارک‌های شهری به‌عنوان کاربری‌های آلوده در رتبه‌ی دوم شناخته شوند. به‌دلیل پوشش گیاهی انبوه، قدیمی، دیوارکشی پیرامون باغ‌ها و دور بودن نسبی از مراکز اصلی حمل و نقل خودرو، آلودگی کمتری مشاهده شد. درنهایت، زمین‌های مرتعی کوهستانی به‌علت قرار گرفتن در بلندی‌ها، در مسیر جهت باد غالب، دور بودن از آمد و شد خودرو و دیگر منابع آلاینده کمترین خاک‌های آلوده را داشتند. همچنین، پوشش گیاهی مناسب مرتعی و درختچه‌ای دلیل دیگری برای این مشاهده بود. یافته‌های این پژوهش با پژوهش های فان و همکاران ۲۰۱۸؛ ایکسیابوینگ و همکاران ۲۰۲۰؛ آلنگباوی و همکاران ۲۰۲۱ مطابقت دارد.

رابطه‌ی میان ویژگی‌های خاک و آلودگی سرب

برخی از عامل‌های حیاتی خاک مانند واکنش خاک، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و بافت، اندازه‌ی تحرک و زیست فراهمی سرب مؤثر هستند (النگباوی و همکاران ۲۰۲۱). نتایج این پژوهش نشان داد که آلودگی فلزهای سنگین سرب با اندازه‌ی آهک خاک و مواد آلی به‌طور معنی‌داری همبستگی منفی داشتند ($p< 0/01$) . بنابراین، این ویژگی‌های خاک می‌توانند توزیع آلودگی فلز سنگین سرب را در منطقه تحت تأثیر قرار دهند. به‌دلیل تکامل کم خاک از مواد اولیه در این منطقه‌ها، اثرهای بافت خاک معنی‌دار نبود. درنهایت، افزایش غیر یکنواختی مکانی را می‌توان به‌عنوان ویژگی معمولی خاک‌های آبخیز شهری نام برد که به‌وسیله‌ی بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (پالتسوا و همکاران ۲۰۱۸). از این رو نمی‌توان از ارزیابی اندازه‌های سرب و اثرهای پیچیده و غیرخطی ویژگی‌های خاک برای دستیابی به مدیریت پایدار غافل شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

خاک‌های آبخیز شهری در مقایسه با خاک‌های عرصه‌های طبیعی هنگام مدل‌سازی یا نقشه‌برداری رقومی با متغیرهای پرشماری به‌عنوان ورودی و در نتیجه با خروجی‌های مختلفی مواجه هستند. این امر می‌تواند مدیریت چالش‌هایی مانند آلودگی فلزهای سنگین را در مدت زمان کوتاه با وجود ارائه‌ی نقشه‌های دقیق و قابل استفاده دشوارتر کند. توزیع مکانی ویژگی‌های خاک و آلودگی سرب به خوبی با روش مدل‌های واریوگرام کروی و نمایی توصیف شده است. مدل زمین‌آماری کریجینگ برای برآورد و نقشه‌برداری رقومی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین آلودگی سرب در منطقه‌ی مطالعه‌شده مناسب بود. اگر چه در خاک‌های آبخیز شهری شیراز آلودگی سرب از معیارهای بین‌المللی معرفی‌شده بیشتر نبود، اما غلظت سرب و دیگر فلزهای سنگین نیز باید سالانه تحت پایش باشد، چونکه محیط‌های شهری در مدت زمان کوتاهی می‌توانند تغییر یابند. نکته قابل توجه آن است که در میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطالعه‌شده آبخیز شهری شیراز، اندازه‌های مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی نقش ویژه‌ای در اندازه‌ی آلودگی سرب داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت صحیح کاربری زمین از جمله جلوگیری از تغییر کاربری‌های با پوشش گیاهی و به‌طور مشخص در آبخیز شهری شیراز؛ حفاظت از باغ‌های شهری و جلوگیری از تغییر کاربری آنها می‌تواند نقش مهمی در مدیریت کیفیت خاک ایفا کند و مهار آلودگی خاک به فلزهای سنگین از جمله سرب باید در طول زمان از اولویت‌های مدیریت آبخیزهای شهری باشد. پیشنهاد می‌شود تا با انجام پژوهش‌های بیشتر در زیست بوم های شهری تأثیر انواع گونه‌های گیاهی در کاربری‌های سبز، بر اندازه‌ی فلزهای سنگین در خاک بررسی شود تا با کاشت انواع گیاهان به آلودگی‌زدایی خاک کمک شود.

فهرست منابع

Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. Toxics. 42 p.

Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. Toxics. 42 p. https://doi.org/10.3390/toxics9030042.

Appiah SK, Aidoo EN, Owusu DA, Nuonabuor MW. 2018. Geostatistical analysis of contamination of soils in an urban area in Ghana. International Journal of Mathematical and Computational Sciences. 12(6):139-147. http://scholar.waset.org/1307-6892/10009292.

Asemave K, Anhwange BA. 2012. Evaluation of heavy metals in waste dumpsites. Germany, Lambert Academic Publishing; 36 p. ISBN: 978-3-659-37380-0.

Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. 2015. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan Province using pollution index. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 19(72): 69-80. (In Persian). http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7

Chapman HD. 1965. Cation-exchange capacity. Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties. 9:891-901. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c6

Chen T, Liu X, Li X, Zhao K, Zhang J, Xu J, Shi J, Dahlgren RA. 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field-scale vegetable soil of Hangzhou, China. Environmental Pollution. 157(3):1003-1010. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.011

Cheng H, Li M, Zhao C, Li K, Peng M, Qin A, Cheng X. 2014. Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China. Journal of Geochemical Exploration. 139 (1):31-52. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.08.012

Design G. 2004. Geostatistics for the environmental science version 7. Gamma Design, USA. 159 p.

Enjavinezhad SM, Kasraian A. 2014. Comparison of the distribution of heavy elements of Lead and Cadmium around two highways in Shiraz. The 1st National Conference on Sustainable Management of Soil and Environment Resources, Kerman. (In Persian).8 p.

Ersahin S. 2003. Comparing ordinary kriging and cokriging to estimate infiltration rate. Soil Science Society of America Journal. 67(6):1848-1855. https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1848

Fan Y, Li Y, Li H, Cheng F. 2018. Evaluating heavy metal accumulation and potential risks in soil-plant systems applied with magnesium slag-based fertilizer. Chemosphere. 197:382-388. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.055

FAO. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014. World Soil Resources Report No. 106. ISSS–ISRIC–FAO, Italy, Rome. 203 p.

Golia E, Tsiropoulos NG, Dimirkou A, Mitsios I. 2007. Distribution of heavy metals of agricultural soils of central Greece using the modified BCR sequential extraction method. International Journal of Environmental and Analytical Chemistry. 87(13-14):1053-1063. https://doi.org/10.1080/03067310701451012

Hazelton P, Murphy B. 2016. Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?. CSIRO publishing. Hong AH, Law PL, Onni SS. 2014. Environmental burden of heavy metal contamination levels in soil from sewage irrigation area of Geriyo Catchment, Nigeria. Civil and Environmental Research. 6(10):118-124.

Islam MS, Ahmed MK, Al-Mamun MH, Eaton DW. 2020. Human and ecological risks of metals in soils under different land-use types in an urban environment of Bangladesh. Pedosphere. 30(2):201-213 https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60395-3.

Islam S, Ahmed K, Al-Mamun H. 2015. Distribution of trace elements in different soils and risk assessment: A case study for the urbanized area in Bangladesh. Journal of Geochemical Exploration. 158: 212-222. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.07.017

Kishe MA, Machiwa JF. 2003. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. Environment International. 28(7): 619-625. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00099-5

Loeppert RH, Suarez DL. 1996. Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods. 5: 437-474. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c15

Lorenz K, Lal R. 2015. Managing soil carbon stocks to enhance the resilience of urban ecosystems. Carbon Management. 6(1-2):35-50. https://doi.org/10.1080/17583004.2015.1071182

Mihailović A, Budinski-Petković L, Popov S, Ninkov J, Vasin J, Ralević NM, Vasić MV. 2015. Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach. Journal of Geochemical Exploration. 150: 104-114. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.017

Nangia SB. 1991. Soil pollution. New Delhi. Ashish Publishing House.

Nelson DW, Sommers LE. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods. 5:961-1010. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34

Paltseva A, Cheng Z, Deeb M, Groffman PM, Maddaloni M. 2018. Variability of bioaccessible Lead in urban garden soils. Soil Science. 183(4):123-131. DOI: 10.1097/SS.0000000000000232

Paltseva AA, Cheng Z, Egendorf SP, Groffman PM. 2020. Remediation of an urban garden with elevated levels of soil contamination. Science of the Total Environment. 722:137965p. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137965

Reza SK, Baruah U, Singh SK, Das TH. 2015. Geostatistical and multivariate analysis of soil heavy metal contamination near coal mining area, Northeastern India. Environmental Earth Sciences. 73(9): 5425-5433. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3797-1

Rhoades JD. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids.Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods, (methodsofsoilan3). pp. 417-435.

Rhoades JD. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods. 5:417-35. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14

Rowell DL. 1994. Soil science: Methods and applications. Harlow, Essex (UK): Longman Scientific and Technical.

Rowell, D.L. 1994. Soil Science Methods and applications. Longman Scientific and Technical .Harlow. Essex. UK.

Savva Y, Szlavecz K, Pouyat RV, Groffman PM, Heisler G. 2010. Effects of land use and vegetation cover on soil temperature in an urban ecosystem. Soil Science Society of America Journal. 74(2): 469-480. https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0107

Shchepeleva AS, Vasenev VI, Mazirov IM, Vasenev II, Prokhorov IS, Gosse DD. 2017. Changes of soil organic carbon stocks and CO2 emissions at the early stages of urban turf grasses' development. Urban Ecosystems. 20(2):309-321. https://doi.org/10.1007/s11252-016-0594-5

Shomali AR, Khodaverdilo H. 2012. Contamination of soils and plants along Urmia

Salmas highway (Iran) to some heavy metals. Journal of Water and Soil Science. 22(3):157-172. (In Persian).

Škrbić BD, Buljovčić M, Jovanović G, Antić I. 2018. Seasonal, spatial variations and risk assessment of heavy elements in street dust from Novi Sad, Serbia. Chemosphere. 205: 452-462. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.124

Smagin AV. 2012. Theory and practice of soil engineering. Moscow, MSU Press. 544 p.

Taalab AS, Ageeb GW, Siam HS, Mahmoud SA. 2019. Some characteristics of calcareous soils. A review AS Taalab1, GW Ageeb2, Hanan S. Siam1 and Safaa A. Mahmoud1. Middle East J. Middle East Journal of Agriculture Research 8(1):96-105.

Vasenev VI, Van Oudenhoven APE, Romzaykina ON, Hajiaghaeva RA. 2018. The ecological functions and ecosystem services of urban and technogenic soils: from theory to practice (a review). Eurasian Soil Science. 51(10):1119-1132. https://doi.org/10.1134/S1064229318100137

Wang Y, Zhang X, Huang C. 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. Geoderma. 150(1-2):141-149. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.021

Wang Z, Hong C, Xing Y, Wang K, Li Y, Feng L, Ma S. 2018. Spatial distribution and sources of heavy metals in natural pasture soil around copper-molybdenum mine in Northeast China. Ecotoxicology and Environmental Safety. 154:329-336. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.048

Weissert LF, Salmond JA, Schwendenmann L. 2016. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO2 efflux across urban land use and soil cover types. Geoderma. 271:80-90. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.014

Wu J, Lu J, Li L, Min X, Luo Y. 2018. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. Chemosphere. 201:234-242. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.122

Wu S, Peng S, Zhang X, Wu D, Luo W, Zhang T, Zhou S, Yang G, Wan H, Wu L. 2015. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. Journal of Geochemical Exploration. 148:71-78. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.009

Xiaobing WANG, Wuxing LIU, Zhengao LI, Ying TENG, Christie P, Yongming LUO. 2020. Effects of long-term fertilizer applications on peanut yield and quality and plant and soil heavy metal accumulation. Pedosphere. 30(4): 555-562. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60457-0

Yang JL, Zhang GL. 2015. Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils–a review. Soil Science and Plant Nutrition. 61(sup1): 30-46. https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1035622

Ye L, Tan W, Fang L, Ji L, Deng H. 2018. Spatial analysis of soil aggregate stability in a small catchment of the Loess Plateau, China: I. Spatial variability. Soil and Tillage Research. 179: 71-81. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.012

Yuan Y, Cave M, Xu H, Zhang C. 2020. Exploration of spatially varying relationships between Pb and Al in urban soils of London at the regional scale using geographically weighted regression (GWR). Journal of Hazardous Materials, 393: 122377pp. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122377

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Evaluation of the Effect of Land Use and Soil Properies on the Amount of Lead in Shiraz Urban Watershed Soils, Using Geostatistics and Digital Soil Mapping

Seyed Javad Naghibi[*1], Majid Baghernezhad[2], Seyed Ali Abtahi[3], Ali Akbar Moosavi[4], Mehdi Zarei[5]

1- Ph.D. Candidate, Department of Soil Sciences, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran and Head of Research and Extention of Green Space and Landscape Organization of Shiraz Municipality

2, 3 and 4- Professor, Department of Soil Sciences, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

5- Associate professor, Department of Soil Sciences, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

urbanization has led to environmental challenges; one of these challenges is heavy metal contamination in which is a serious concern for the public health and health of watershed residents issues. One of the heavy metals that play a major role in soil pollution in urban ecosystems is Lead (Pb). Pb has been used by humans for a long time, and in recent decades, leaded gasoline is one of the main sources of this pollutant in urban watersheds. The use of digital soil mapping using the functions available in geostatistics has changed the zoning of soil pollution compared to the old methods and can lead to the optimal management of soil pollution while land use can also have a great impact on this management. The aim of this research is to determine the amount of Pb heavy metal in soil and its relationship with land use.

Materials and methods

The study area was Shiraz urban watershed with an area of 41133 hectares, as a part of the Maharloo lake watershed, located in the central part of Shiraz township, Fars province in the south of Iran. Soil moisture and temperature regims of study area are xeric and thermic respectively. The studied land

Article Type: Research Article

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

Citation: Naghibi, S,J., Baghernezhad, M., Abtahi, S,A., Moosavi, S,A,A., Zarei, M. 2023. Evaluation of the effect of different land uses and soil physical and chemical characteristics on the amount of Lead in Shiraz urban watershed soils, using geostatistics and digital soil mapping. Watershed Management Research. 36(3): 62-80.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.361155.1519

Received: 17 January 2023, **Received in revised form:** 07 February 2023, **Accepted:** 19 March 2023, **Published online:** 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 62-80.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

uses were bare lands, urban parks, gardens and mountain range lands In order to determine the physical and chemical properties of the soil, 30 soil samples were taken from the depth of 0 to 20 cm from each land use. Geographic information system (GIS) and spherical and exponential variogram geostatistical models were used to produce digital maps. Kriging method was also used to estimate the physical and chemical properties, and the amount of Pb.

Results and discussion

Based on the results of this research, the difference in soil chemical properties such as reaction, equivalent calcium carbonate and the amount of organic matter in different uses was significant. Also, the amount of cation exchange capacity and lead pollution was significant at the level of 0.01. The results of this research showed that in urban watershed soils of Shiraz, the amount of Pb was influenced by some chemical characteristics of the soil such as organic matter and cation exchange capacity. In the studied area in different land uses, the trend of Pb contamination was as follows: mountain range lands < gardens < urban parks < bare lands.

Conclusions and suggestions

The results of current research showed that different land uses can affect the amount of Pb. Considering the problem of soil pollution in urban watersheds and the important effect of land use on its amout, it is suggested to carry out research and urban development projects for detailed investigations of land use and its relationship with other environmental characteristics, including soil pollution. It is also suggested to carry out more local and thematic researches in urban ecosystems on the effect of various types of plant species on the amount of heavy metals in the examined soil, so that by planting that type of vegetation, soil decontamination can be helped.

Keywords: Urban watershed, lead, GIS, kriging

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پیش‌بینی آب‌دهی رود فریزی با بهره‌گیری از محاسبه‌های نرم

صابر جمالی[۱]، فرشته رحیمی‌آغ‌چشمه[۲]، محمدجواد امیری[۳]*

۱ – دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲ – دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی محیط‌زیست و منابع‌طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳ – دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

پیش‌بینی دقیق جریان رود به‌عنوان یک منبع مهم آب شیرین روی زمین، در مهندسی و مدیریت منابع آب ضروری است؛ از این رو، توسعه‌ی فن‌آوری که آب‌دهی رود را پیش‌بینی کند، ضروری است. در این زمینه مدل‌های مختلفی به‌وسیله‌ی پژوهش‌گران پرشماری ارائه‌شده است. این مدل ها به دو دسته‌ی مدل‌های فیزیکی مبتنی بر اصول آب‌شناسی/آبی و مدل‌های مبتنی بر محاسبه‌های نرم تقسیم می‌شوند. تمام مقاله‌های چاپ‌شده شواهدی از اهمیت کاربرد مدل‌های مبتنی بر محاسبه‌های نرم برای مشکلات آب‌شناختی، به‌ویژه آب‌دهی رود هستند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای پیش‌بینی آب‌دهی رود فریزی از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد. در این پژوهش، از گروه روزانه آب‌دهی در ده سال (۱۳۹۹-۱۳۹۰) مربوط به ایستگاه آب‌سنجی موشنگ استفاده شد. میانگین بلندی منطقه‌ی بررسی‌شده ۲۱۷۱ متر از سطح دریا با طول جغرافیایی ″۳۰ ′۴۹ °۵۸ تا ″۳۰ ′۴ °۵۸ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱ ′۲۰ °۳۶ تا ″۱ ′۳۲ °۳۶ است. از داده‌های آب‌دهی روزانه رود از ۱ تا ۵ روز قبل به‌عنوان ورودی مدل‌های GEP و SVM استفاده شد. به‌منظور اطمینان از همگنی و تکمیل

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** mj_amiri@fasau.ac.ir

استناد: جمالی، ص.، رحیمی‌آغ‌چشمه، ف.، امیری، م.ج. ۱۴۰۳. پیش‌بینی آب‌دهی رود فریزی با بهره‌گیری از محاسب‌های نرم. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۱): ۹۷–۸۱.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360554.1504

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۰/۱۳، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های۸۱ تا ۹۷

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

کمبود داده‌های آب‌دهی استفاده‌شده از آزمون ران و ضریب همبستگی میان ایستگاه‌های هم‌جوار استفاده شد. سپس داده‌ها به‌شکل تصادفی به دو بخش، ۸۰٪ برای آموزش و ۲۰٪ برای آزمون و تعیین خطای مدل‌سازی تفکیک شدند. در مراحل آموزش و اعتبارسنجی براساس ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RSME)، ضریب همبستگی (R)، اریبی مدل، کارایی مدل کلینگ گوپتا (KGE) و نش-ساتکلیف (NSE) عملکرد مدل بررسی شد. در این پژوهش به‌منظور برآورد جریان ورودی به رود فریزی با کاربرد مدل SVM، سه نوع تابع کرنل رایج در آب‌شناسی شامل تابع‌های پایه‌ی خطی، چند جمله‌ای و شعاعی بررسی شد.

نتایج و بحث

از میان تابع‌های گوناگون، تابع مبنای شعاعی به‌دلیل داشتن کمترین اندازه‌ی خطا برای متغیرها انتخاب شد. بهترین الگوی ورودی، الگوی شماره‌ی ۵ بود که در آن متغیرهای آب‌دهی پیشین با پنج گام زمانی تأخیر استفاده شد، و در مرحله‌ی آموزش در مدل GEP و SVM بهترین عملکرد را در پیش‌بینی آب‌دهی روزانه‌ی ایستگاه موشنگ داشت. عملکرد مدل اعمال‌شده نشان SVM ‏(RSME = 1.15، R = 0.985، NSE = 0.85 و KGE = 0.79) در مرحله‌ی اعتبارسنجی برای پیش‌بینی آب‌دهی روزانه‌ی رود از مدل GEP ‏(RSME = 1.65، R = 0.964، NSE = 0.78 و KGE = 0.69) دقیق‌تر است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش نشان داد که روش محاسبه‌های نرم (مانند SVM و GEP)، ابزار قدرتمندی در پیش‌بینی جریان رود است. با کاربرد این مدل‌ها می‌توان میان سنجه‌های ورودی و خروجی رابطه‌ی مطلوب ایجاد کرد و امکان شبیه‌سازی دقیق جریان میانگین و حداکثر روزانه را فراهم ساخت.

واژگان کلیدی: آبخیز فریزی، بیان ژن، رواناب، محاسبه‌های نرم، هوش مصنوعی

مقدمه

در طول زمان با افزایش جمعیت و تغییر کاربری زمین‌ها، اهمیت برنامه‌ریزی برای مدیریت جامع آبخیزها بیشتر شده است. مشکل اساسی برای برنامه‌ریزی کمبود ایستگاه آب‌سنجی است. یک روش برای حل این مشکل، برآورد اندازه‌ی رواناب آبخیز براساس ویژگی‌های طبیعی آن است. به‌منظور تصمیم‌گیری و برآورد سیل در آبخیز می‌توان از مدل‌های آب‌شناختی- توزیعی و مدل‌های داده محور استفاده کرد (بهره‌مند و همکاران ۲۰۰۵؛ صفری و همکاران ۲۰۱۴؛ آذین‌مهر و همکاران ۲۰۱۶). پیش‌بینی آب‌دهی جریان برای تأمین و بهره‌برداری از منابع آب سطحی و همچنین مدیریت سیلاب، ضروری است. بررسی تغییرات آب‌دهی رودها به‌دلیل خشک‌سالی‌ها و تغییرهای اقلیمی رخداده و همچنین زیاد بودن متغیرهای مؤثر و قطعی نبودن آن حائز اهمیت است. از این رو، یکی از روی‌کردهای مناسب در پژوهش برآورد آب‌دهی رود و آب‌دهی سیلاب، استفاده از محاسبه‌های نرم به‌عنوان روشی برای پیش‌بینی در شرایط نبودن قطعیت و حقیقت جزئی است (خاشعی-سیوکی و سربازی ۲۰۱۵). محاسبه‌های نرم برای نشان دادن ابهام در تفکر انسان با نبودن قطعیت زندگی واقعی فرصت جذابی فراهم کرده است. با توجه به مزیت‌های این مدل ، استفاده از آن در پیش‌بینی آب‌دهی جریان، بیش از پیش ضروری به‌نظر می‌رسد.

نتایج پیش‌بینی آب‌دهی رود با استفاده از محاسبه‌های نرم نشان داد که در پیش‌بینی آب‌دهی‌های زیاد، مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در مقایسه با مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) عملکرد بهتری داشت (عبداللهی و همکاران ۲۰۱۷). نتایج شبیه‌سازی آب‌دهی رود با استفاده از معیارهای ارزیابی RMSE و ضریب نش-ساتکلیف (NS) نشان داد که در برآورد جریان رود مدل جدید ترکیبی ANN در مقایسه با GEP عملکرد بهتری داشت (دل‌افروز و همکاران ۲۰۱۸). نتایج پژوهش شافو و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی آب‌دهی ماهانه از سالانه عملکرد ضعیفی داشت. نتایج بررسی قربانی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که در برآورد آب‌دهی رود مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) در مقایسه با مدل وایازی چندگانه عملکرد بهتری داشت. نتایج پیش‌بینی آب‌دهی رود با استفاده از مدل‌های هوشمند نشان داد که مدل ANN در مقایسه با مدل SVM عملکرد بهتری داشت (قربانی و همکاران ۲۰۱۸). در کشور پاکستان نتایج پیش‌بینی آب‌دهی رود با استفاده

از محاسبه‌های نرم نشـــان داد که مدل جنگل تصادفی (RF) در مقایســـه با مـــدل SVM به اندازه‌ی ۳۳/۶٪ عملکرد بهتری داشت (حسین و خان ۲۰۲۰). همچنین در کشور مالزی نتایج پیش‌بینی آب‌دهی رود با استفاده از محاســـبه‌های نرم نشـــان داد که مدل‌های مبتنی بر RF در مقایســـه بـــا مدل‌های مبتنـــی بر LS-SVM عملکرد بهتری داشـــت (پندهیانـــی و همکاران ۲۰۲۰). نتایج پژوهش ســـاهو و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که مدل ماشین بردار پشـــتیبان بهینه‌شده با دستورالعمل کرم شـــب‌تاب (SVM-FA) توانست آب‌دهی رود را با ضریب تبیین ۰/۹۸ پیش‌بینی کند و در مقایسه با مدل SVM عملکرد بهتری داشـــت. در استان گیلان نتایج پیش‌بینی آب‌دهی رودهای پســـیخان و خالکایی نشان داد که مدل‌های گروه زمانی SARIMA در مقایســـه با ماشـــین بردار پشتیبان حداقل مربعات (LS-SVM) عملکرد بهتری داشـــت (خداخواه و همـــکاران ۲۰۲۲). نتایـــج پیش‌بینی آب‌دهی رود کســـینجا با اســـتفاده از محاســـبه‌های نرم نشـــان داد که مـــدل درخت تصمیم M5P در مقایسه با مدل بردار پشتیبان براساس ضریب نش-ساتکلیف عملکرد بهتری داشت (نیوش و همکاران ۲۰۲۲). نتایج پیش بینی آب‌دهـــی رود باراندوزچای با اســـتفاده از محاســـبه‌های نرم نشـــان داد که در برآورد آب‌دهی براساس شاخص‌های ضریب تبیین و RMSE، مدل GP در مقایســـه با مـــدل SVM عملکرد بهتری داشـــت (احمدی و همـــکاران ۲۰۱۶). نتایج پیش‌بینی آب‌دهـــی رود ورودی به ســـد گرگان بـــا بهره‌گیری از مدل‌های ANN و SVM نشان داد که مدل SVM در مقایسه با مدل شـــبکه عصبی، RMSE کمتری داشت (صمدی و فتح‌آبـــادی ۲۰۱۹). نتایج پیش‌بینی آب‌دهی رود گاماسیاب با استفاده از فرا مدل‌های هوشمند نشان داد که مدل GEP در مقایســـه با مدل بیزین ارجحیت و برتری نســـبی داشـــت (زینعلی و همـــکاران ۲۰۲۰). نتایج پژوهـــش رحیمی و حافظ‌پرســـت‌مودت (۲۰۲۰) نشان داد که در شبیه‌ســـازی آب‌دهی در دوره‌ی آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) مدل GEP در مقایسه با مدل SVM عملکرد بهتری داشـــت. نتایج بررسی فاطمی و همکاران (۲۰۲۲) در شبیه‌ســـازی آب‌دهـــی رود نشـــان داد که براســـاس ضریب NS به‌دســـت آمده، مدل SVM در مراحل آموزش و آزمایش به‌ترتیب عملکرد خیلی خوب و خوب داشت و بهره‌گیری از دستورالعمل ژنتیک سبب بهبود عملکرد این مدل شد.

آبخیز فریزی مشـــهد یک آبخیز با شیب زیاد و تغییرات زیاد کاربری اســـت که بیشـــتر بخش‌های کناره‌ی رود به‌وسیله‌ی مناطق مسکونی، باغ‌ها و مراکز تفریحی اشغال شده است. با وجود شرایط طبیعی و دخالت‌های انسانی، این منطقه در معرض خطر شـــدید سیل است. بنابراین، بررسی شرایط آب‌شناخت این آبخیز اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر در خروجی آبخیز یک ایســـتگاه آب‌سنجی است که آب‌نگار سیل را به‌شـــکل ساعتی ثبت می‌کند. بنابراین می‌توان افزون بر بررســـی شـــرایط آب‌شناسی، با مقایســـه نتایج آن با داده‌های ایســـتگاه آب‌ســـنجی، سنجه‌های مدل را واســـنجی کرد و برای شرایط مشابه استفاده کرد. از این رو، این پژوهش با هدف شبیه‌سازی جریان رود فریزی با گام زمانی کوتاه‌مدت انجام شـــد تا دقت مدل در شبیه‌ســـازی جریان‌های سیلابی مشخص شود.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی‌شده و داده‌های استفاده‌شده

آبخیز فریزی با مســـاحت تقریبی ۲۷۸ کیلومترمربع در شمال غرب مشـــهد در استان راسان رضوی است. طول جغرافیایی آن ″۳۰ ′۴۹ °۵۸ تا ″۳۰ ′۳۰ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی آن ″۱ ′۲۰ °۳۶ تا ″۱ ′۳۲ °۳۶ اســـت. میانگین شـــیب این آبخیز ۳۶/۷۶ ٪ است. میانگین بلندی آبخیز ۲۱۷۱ متر اســـت. موقعیـــت آبخیز فریزی در اســـتان خراســـان رضوی و ایران در شـــکل ۱، نشـــان‌داده شده اســـت. در این پژوهش داده‌های مربـــوط به گروه زمانی آب‌دهی (۹۹-۱۳۹۰) برای ایستگاه آب‌سنجی موشنگ (در خروجـــی آبخیز فریزی) از آب منطقه‌ای خراســـان رضوی تهیه شـــد. در گام نخســـت، به‌منظور اطمینان از همگنی و تکمیل کمبود داده‌های آب‌دهی استفاده‌شده از آزمون ران و ضریب همبستگی بـــین ایســـتگاه‌های هم‌جوار اســـتفاده شد. سپس داده‌ها به‌شکل تصادفی به دو قسمت، ۸۰٪ برای آموزش و ۲۰٪ بـــرای آزمون و تعیین خطای مدل‌سازی تفکیک شدند. براساس نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) آبخیز فریزی که در شکل ۲ نشـــان‌داده شده اســـت، بیشـــترین و کمترین بلندی به‌ترتیب ۳۱۳۳ و ۱۴۱۰ متر از ســـطح آزاد دریا اســـت. با اســـتفاده از روش ســـنجش از دور و براساس ترکیب تصویرهای ماهواره‌ی لندست ۸ و سنجنده‌ی مودیس و با کد نویسی در محیط گوگل‌ارث انجین (GEE) نقشه‌ی کاربری زمین‌های آبخیز فریزی تهیه شـــد (شـــکل ۲). اطلاعات آب‌دهی لحظه‌ای جمع‌آوری شد و سپس برای شبیه‌سازی رواناب، از مدل بیان ژن GEP (با بهره‌گیری از نرم‌افزار GenXPro) و مدل ماشـــین بردار پشتیبان (با کد نویسی در محیط Matlab) استفاده شد.

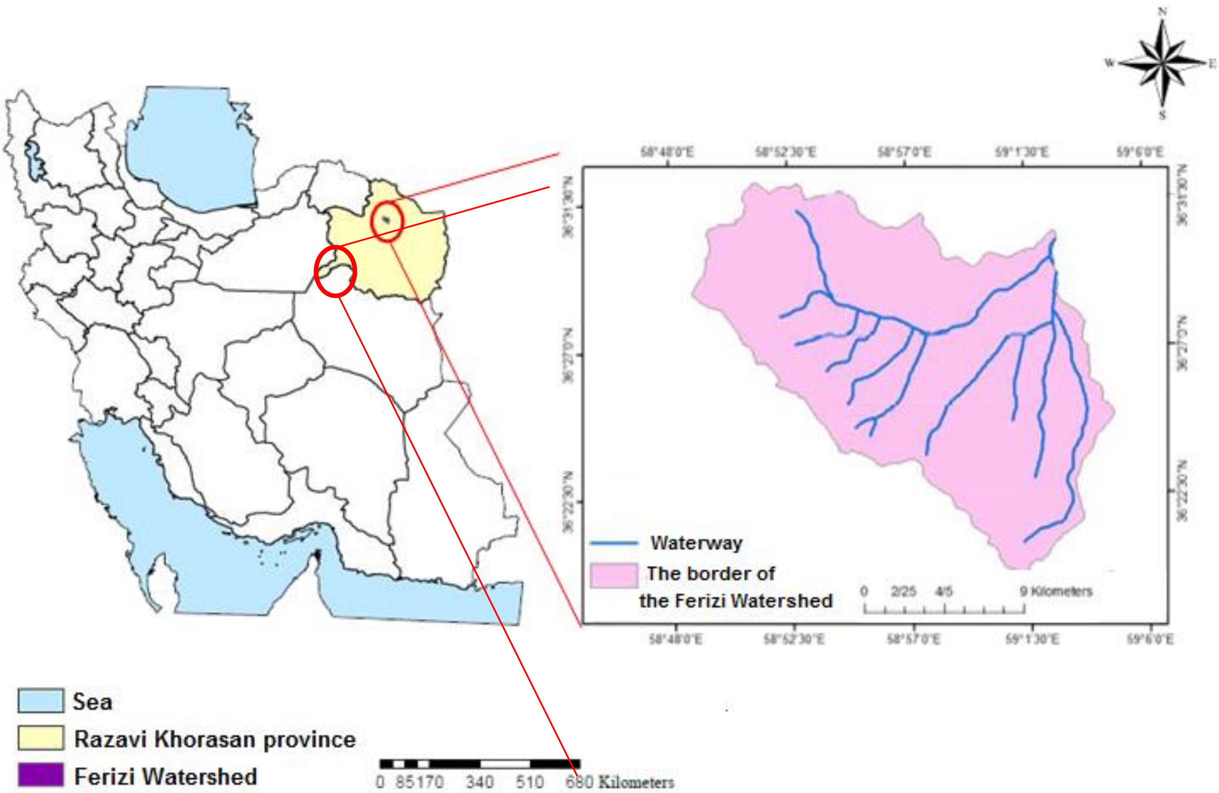
برنامه‌ریزی بیان ژن

مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) تعمیم‌یافته دستورالعمل ژنتیک GA است که براساس نظریه‌ی داروین ارائه و به‌وسیله‌ی فریرا و همکاران (۲۰۰۱) ابداع شد. برنامه‌ریزی GEP نیز همانند GA و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)، یک دستورالعمل ژنتیکی است که جمعیتی از افراد را مطابق برازندگی انتخاب می‌کند و تغییرات ژنتیکی را با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی اعمال می‌کند. تفاوت اساسی بین این سه دستورالعمل، مربوط به ماهیت افراد آن‌هاست؛ به‌طوری‌که در GA افراد رشته‌های خطی با طول ثابت (کروموزوم) و در GP نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت (درختان تجزیه) می‌باشند، درحالی‌که در GEP، افراد به‌شکل رشته‌های خطی با طول ثابت (ژنوم یا کروموزوم) کدگذاری می‌شوند و سپس به‌شکل نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت بیان می‌شوند (سالاری جزی و همکاران ۲۰۱۶). اولین مرحله در دستورالعمل GEP، تولید جمعیت اولیه بود که به‌وسیله‌ی فرایند تصادفی و یا با استفاده از بخشی از اطلاعات درباره‌ی مسئله انجام شد. کروموزوم‌ها به‌شکل بیان درختی در شکل ۳ نشان‌داده شده است. اگر کیفیت رضایت‌بخش از یک‌راه حل پیدا شود و یا نسل‌ها به تعداد معینی برسند، تکامل متوقف‌شده و بهترین راه‌حل یافت شده، گزارش می‌شود (سلگی و همکاران ۲۰۱۷؛ زینعلی و همکاران ۲۰۲۰). چکیده‌ی مراحل این روش در شکل ۳-الف نشان‌داده شده است. تابع برازش به‌وسیله‌ی پردازش تعدادی از مسئله هدف، ارزیابی شد (رابطه‌ی ۱).

$$f_i = \sum_{j=1}^{n} \left(R - \left|100 \times \frac{P_{ij} - T_j}{T_j}\right|\right) \qquad (۱)$$

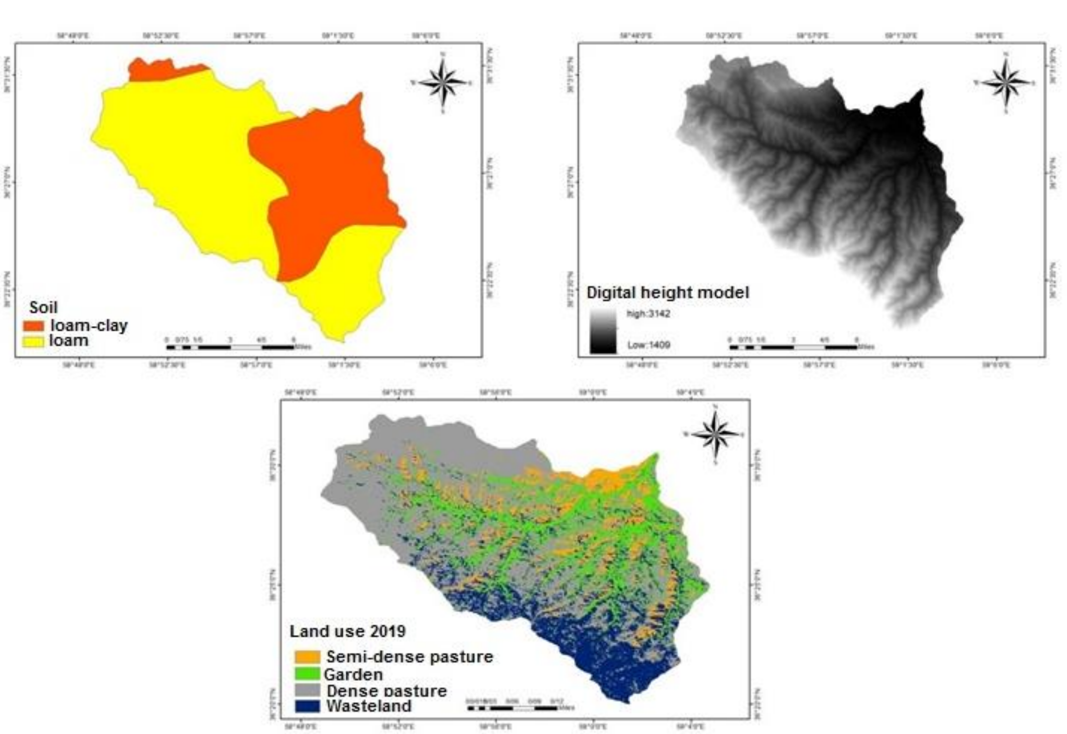
R: محدوده‌ی انتخابی، P_{ij}: اندازه‌ی پیش‌بینی‌شده به‌وسیله‌ی برنامه‌ی انفرادی i برای برازش j (از میان n تعداد برازش) و T_j: اندازه‌ی هدف برای برازش j است (قبادیان و همکاران ۲۰۱۳).

اندازه‌های مربوط به تنظیم‌های کلی و عملکردهای ژنتیکی در جدول ۱ نشان‌داده شده است. سنجه‌های ورودی به مدل در الگوهای مختلف در جدول ۲ آورده‌شده است. براساس نتایج پژوهش‌های پیشین، بهترین نتایج از میان مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی جریان روزانه در شرایطی اتفاق می‌افتد که داده‌های ورودی تا پنج تأخیر زمانی استفاده شود (سالاری‌جزی و همکاران ۲۰۱۶).



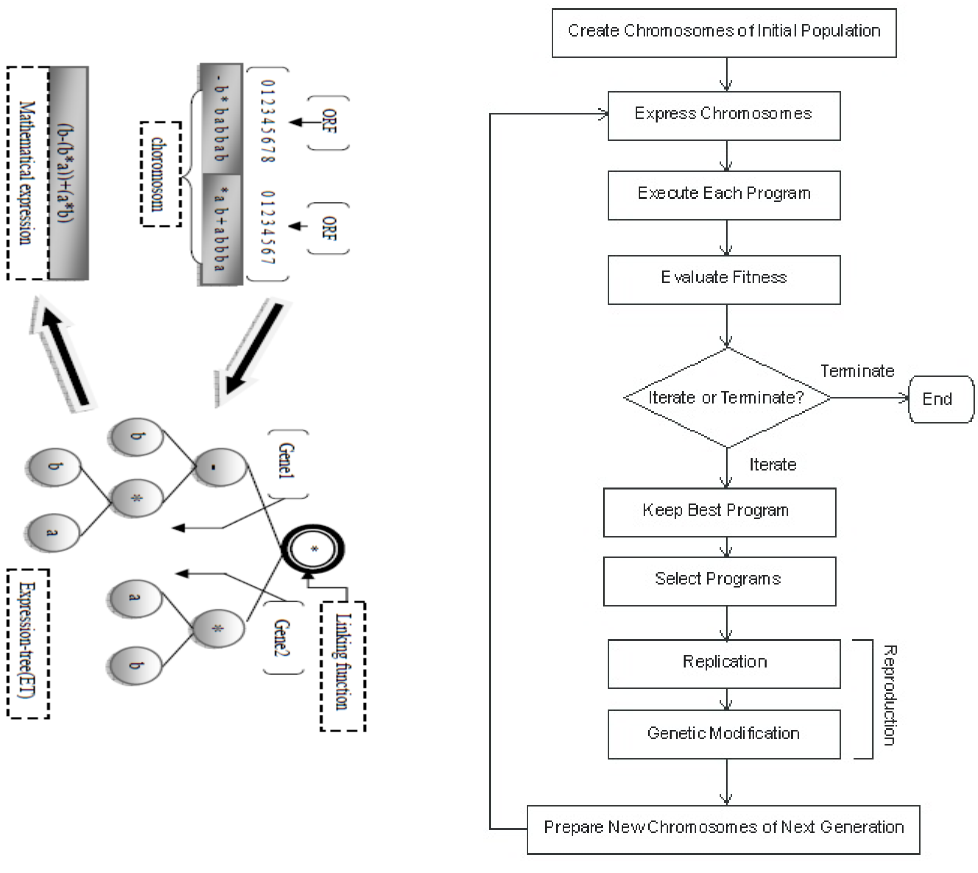
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و شبکه‌ی آبراهه‌های آبخیز فریزی در استان خراسان رضوی.

Figure 1- Geographical Location and Waterway Network of the Ferizi Watershed in the Razavi Khorasan Province.



شکل ۲- نقشه‌ی رقومی ارتفاعی، بافت خاک و کاربری زمین‌های آبخیز فریزی، خراسان رضوی.

Figure 2- Altitude Digital Map, Soil Texture, and Land Use of the Ferizi Watershed in Razavi Khorasan.



(ب) (b)　　　　(الف) (a)

شکل ۳- طرح‌واره‌ی انجام پژوهش با GEP (الف)، کدگذاری و کد برداری به‌شکل بیان درختی ET در یک کروموزوم با دو ژن (ب).

Figure 3- The Scheme of Conducting Research with GEP (a) and Coding and Decoding ET as a Tree Expression in a Chromosome with Two Genes (b)

جدول ۱- اندازه‌های سنجه‌های استفاده‌شده در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن.

Table 1 - Parameter Values Used in the Gene Expression Programming Method.

	Parameter	Value		Parameter	Value
General settings	Number of chromosomes	30	Genetic functions	Mutation rate	0.044
	Head size	7		Gene transposition rate	0.1
	Number of genes per chromosome	5		Gene recombination rate	0.1
	Error criterion of the fitting function	R		One-point recombination rate	0.3
	Linking function	SUM (+)		Two-point recombination rate	0.3

جدول ۲- ترکیب‌های انتخاب‌شده‌ی سنجه‌های ورودی مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان.

Table 2- Selected Combinations of Input Parameters for the Gene Expression Programming Model and Support Vector Machine.

Model number	Selected combination
1	Q(t)=f[Q(t-1)]
2	Q(t)=f[Q(t-1) Q(t-2)]
3	Q(t)=f[Q(t-1) Q(t-2) Q(t-3)]
4	Q(t)=f[Q(t-1) Q(t-2) Q(t-3) Q(t-4)]
5	Q(t)=f[Q(t-1) Q(t-2) Q(t-3) Q(t-4) Q(t-5)]

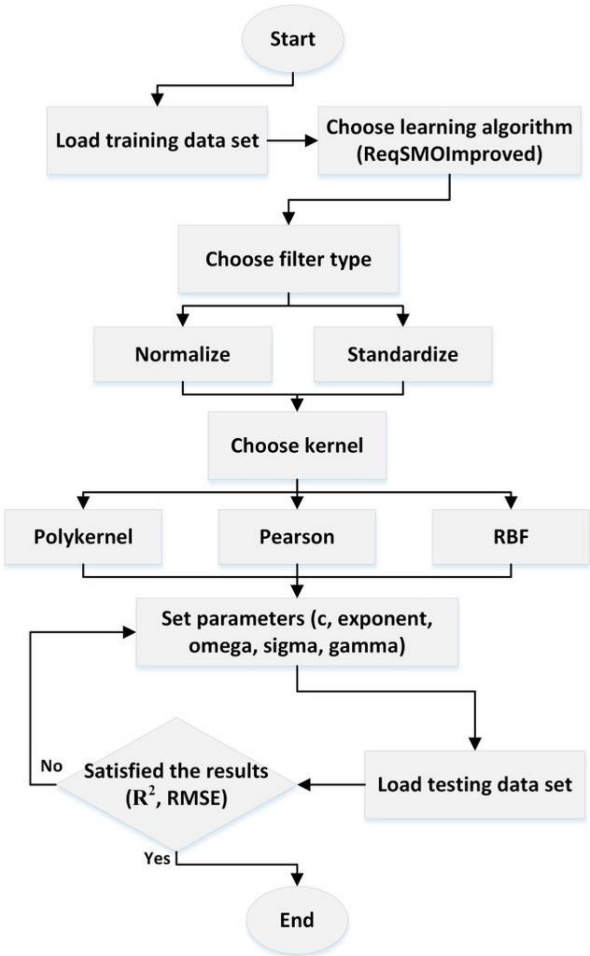
ماشین بردار پشتیبان SVM

ماشـــین بردار پشـــتیبان به‌عنوان یک ساختار یادگیری کارآمـــد بر مبنای نظریه‌ی بهینه‌ســـازی مقید اســـت و بـــا بهره‌گیری از اصل اســـتقرای کمینه ســـازی خطای ســـاختاری، توســـعه‌یافته اســـت؛ به‌طوری‌که در انتها به جواب بهینه کلی منتج می‌شـــود (عیسی‌زاده و همکاران ۲۰۱۹). طرح‌واره‌ی انجام پژوهش با مدل ماشـــین بردار پشـــتیبان در شـــکل ۴ برگرفته از عیسی‌زاده و همکاران ۲۰۱۹ اســـت. در این روش تابعی با متغیر وابسته y که خود تابعی از چند متغیر مســـتقل x است، برآورد شده و مشـــابه دیگر روش‌های وایازی‌گیری، بیان‌گر رابطه‌ی جبری میان متغیرهای مســـتقل و وابسته با تابع جبری مانند f(x) به‌علاوه مقداری خطای مجاز است (رابطه‌های ۲ و ۳؛ دهقانی و همکاران ۲۰۱۷).

$$f(x) = W^T.\varphi(x) + b \qquad (۲)$$

$$y = f(x) + noise \qquad (۳)$$

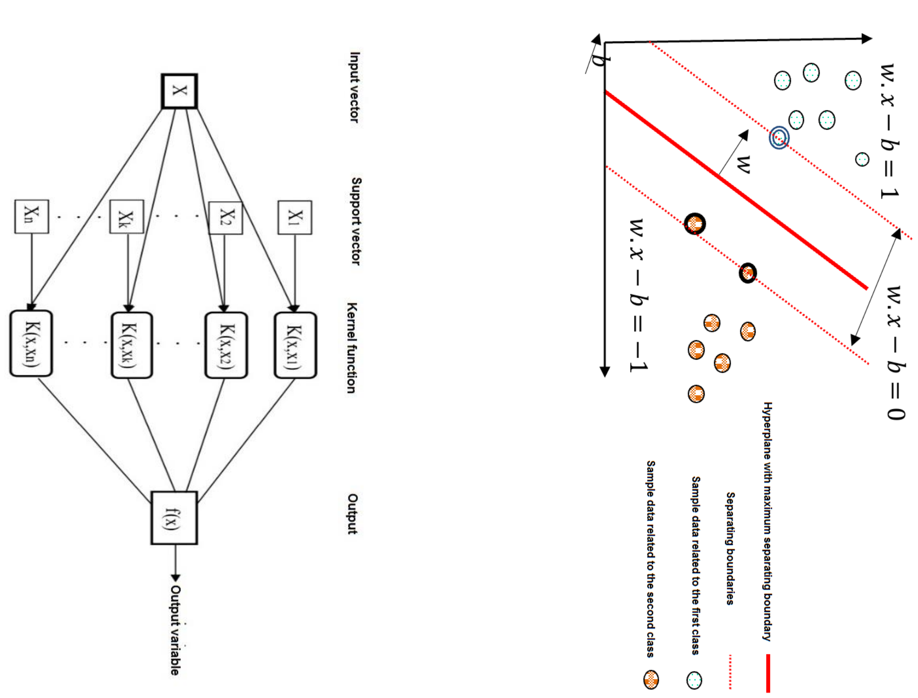
اگر W بردار ضریب‌ها و b ثابت مشخصه‌های تابع وایازی و φ: تابع کرنل باشد، آنگاه هدف پیدا کردن شکل تابعی برای f(x) اســـت. این مهم با آموزش مدل به‌وســـیله‌ی مجموعه‌ای از نمونه‌ها محقق می‌شود.



شکل ۴- طرح‌واره‌ی انجام پژوهش با مدل **ماشین بردار پشتیبان.**

Figure 4- Research Methodology for Conducting Research with the Support Vector Machine Method

در این روش هدف، یافتن تابعی با کمترین اندازه‌ی انحراف از y است. ماشین بردار پشتیبان، داده‌های متغیرهای مستقل (داده‌های اصلی) را با به‌کارگیری مجموعه‌ای از تابع‌های کرنل در فضای جدیدی بازآرایی می‌کند (ستاری و همکاران ۲۰۱۶). ابر صفحه جداساز و فاصله‌ی نقاط تا خطوط جداکننده و شمای ساده‌ای از مدل‌سازی با ماشین بردار پشتیبان برگرفته از ستاری و همکاران (۲۰۱۶) در شکل ۵ نشان داده شده است.



(الف) (a) (ب) (b)

شکل ۵- ابر صفحه جداساز و فاصله‌ی نقاط تا خطوط جداکننده (الف) و شمای ساده‌ای از مدل‌سازی با ماشین بردار پشتیبان (ب).

Figure 5- Separator Superplane and Distance of Points to Separator Lines (a), and a Simple Diagram of Modeling with Support Vector Machine (SVM) (b).

بـــرای پیش‌بینی بـــا مدل SVM از تابـــع کرنل RBF اســـتفاده شد و کد نویســـی در نرم‌افزار Matlab انجام شـــد. در این مدل همانند مدل بیـــان ژن از پنج ورودی جدول ۲، استفاده شد.

نمودار تیلور

برای ارزیابی عملکرد الگوهای مختلف استفاده‌شـــده در پیش‌بینی آب‌دهی و مقایسه‌ی با آب‌دهی مشاهده‌ای از نمودار تیلور اســـتفاده شد (تیلور ۲۰۰۱). در این نمودار برای ارزیابی از ســـه آماره‌ی ریشـــه‌ی میانگین مربعات خطـــا (RMSE)، ضریب همبســـتگی و انحراف معیار میان داده‌های آب‌دهی شبیه‌سازی‌شـــده و مشـــاهده‌ای استفاده شـــد. برای محاسبه ریشـــه‌ی میانگین مربعات خطا و ضریب همبســـتگی به‌ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده شد. برای رسم این نمودار، کد نویسی با نرم‌افزار Matlab انجام شد.

$$\mathrm{RMSE}=\sqrt{\frac{\sum(\mathrm{P}-\mathrm{O})^2}{\mathrm{n}}} \qquad (۴)$$

$$r=\frac{\sum((\mathrm{O}-\bar{\mathrm{O}})\times(\mathrm{P}-\bar{\mathrm{P}}))}{\sqrt{\sum(\mathrm{P}-\bar{\mathrm{P}})^2}\times\sqrt{\sum(\mathrm{O}-\bar{\mathrm{O}})^2}} \qquad (۵)$$

P: اندازه‌هـــای شبیه‌سازی‌شـــده به‌وســـیله‌ی مدل‌هـــا، O: اندازه‌های مشـــاهده‌ای، n: تعداد داده‌ها، $\bar{\mathrm{P}}$: میانگین داده‌هـــای شبیه‌سازی‌شـــده و $\bar{\mathrm{O}}$: میانگیـــن داده‌هـــای مشاهده‌ای است.

معیارهای آماری استفاده‌شده برای ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل در مراحل واســـنجی و اعتبارسنجی از معیارهای آماری نش-ساتکلیف، شاخص کلینگ-گوپتا، ضریب تبیین و RMSE استفاده شد.

ضریب نش-ساتکلیف NS

ضریب نش-ساتکلیف نشان‌دهنده‌ی درستی شبیه‌سازی آب‌دهی‌های جریان با اســـتفاده از مدل است. اندازه‌های این شـــاخص میان منفی بی نهایت تا یک متغیر اســـت و اندازه‌هـــای نزدیک به یک بیان‌گـــر کارایی خوب مدل اســـت. در این پژوهش ضریب نش-ساتکلیف از رابطه‌ی ۶ تعیین شد.

$$\mathrm{NS}=1-\frac{\sum(\mathrm{Qo}-\mathrm{Qs})^2}{\sum(\mathrm{Qo}-\overline{\mathrm{Qo}})^2} \qquad (۶)$$

Qo: داده مشـــاهده‌ای، Qs: داده‌ی شبیه‌سازی‌شـــده و $\overline{\mathrm{Qo}}$: میانگیـــن داده‌ی مشـــاهده‌ای اســـت. طبقه‌بندی ضریب نش-ساتکلیف در جدول ۳ آورده‌شده است.

جدول ۳- طبقه‌های اندازه‌های معیار نش-ساتکلیف (احمدیوسفی و همکاران ۲۰۱۹).
Table 3- Classes corresponding to Nash-Sutcliffe criterion values (Ahmadyousefi et al. 2019).

Evaluation criteria	Very weak	Weak	Good	Very good	Excellent
Nash-Sutcliffe	<0.2	0.2-0.5٠	0.5-0.65	0.65-0.85	>0.85

شاخص کلینگ-گوپتا KGE

در این پژوهش برای ارزیابی مدل از شاخص کلینگ-گوپتا استفاده شد. بهترین اندازه برای معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا عدد یک است که نشان‌دهنده‌ی تطابق کامل آبنگارها است. در این پژوهش این شاخص با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه شد.

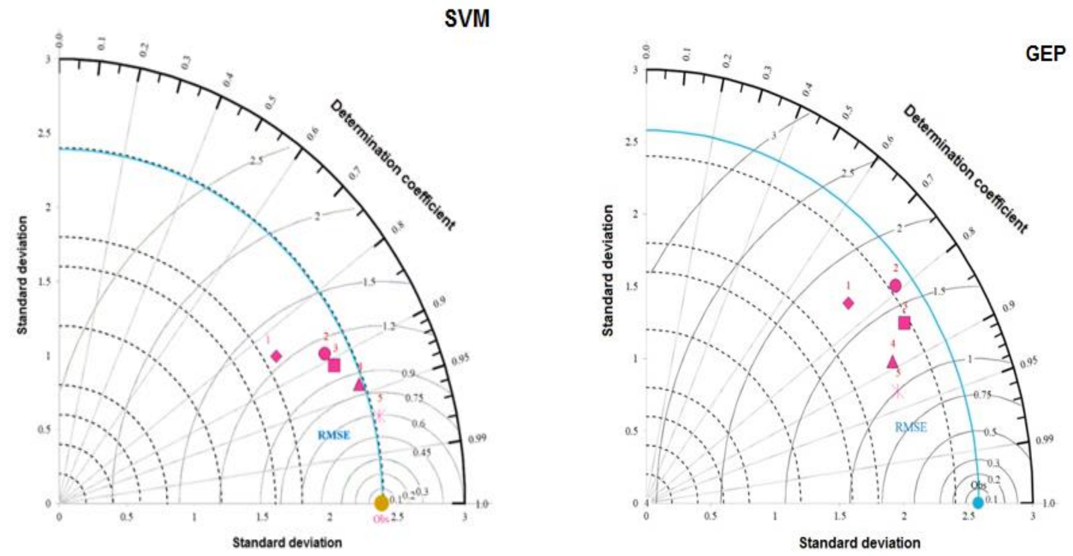
(۷)

$$1-\sqrt{(r-1)^2+(a-1)^2+(B-1)^2}\ a=\frac{\sigma_s}{\sigma_o}\ \beta=\frac{\mu_s}{\mu_o}$$

سنجه‌های r: ضریب همبستگی داده‌های میان آبدهی شبیه‌سازی و مشاهده‌ای، α: نسبت انحراف معیار، β: نسبت میانگین، σs: انحراف معیار اندازه‌های شبیه‌سازی، σo: انحراف معیار اندازه‌های مشاهده‌ای، μs: میانگین اندازه‌های شبیه‌سازی و μo: میانگین اندازه‌های مشاهده‌ای است.

نتایج و بحث

در این پژوهش برای مدل‌سازی آبدهی در آبخیز فریزی از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. برای تعیین بهترین الگوی استفاده‌شده در شبیه‌سازی آبدهی به‌وسیله‌ی مدل‌های مزبور در مرحله‌ی آموزش از نمودار تیلور استفاده شد. نمودار تیلور در شکل شکل ۶ نشان‌داده شده است. براساس نتایج شبیه‌سازی آبدهی با مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و با توجه به شکل ۶-الف، مشخص شد که استفاده از الگوی شماره‌ی ۵، کمترین اندازه‌ی RMSE و بیشترین اندازه‌ی r را داشت. همچنین این الگو بیشترین دقت را در میان الگوهای بررسی‌شده داشت. در این پژوهش براساس نتایج شبیه‌سازی آبدهی در مرحله‌ی آموزش با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان و با توجه به شکل نشان داد شکل ۶-ب مشخص شد که الگوی شماره‌ی ۵ در مقایسه با دیگر روش‌ها بیشترین اندازه‌ی r و کمترین اندازه‌ی RMSE را داشت. بخش‌هایی از گروه زمانی آبدهی در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ در دو مدل GEP و SVM در جدول ۴ آورده‌شده است.

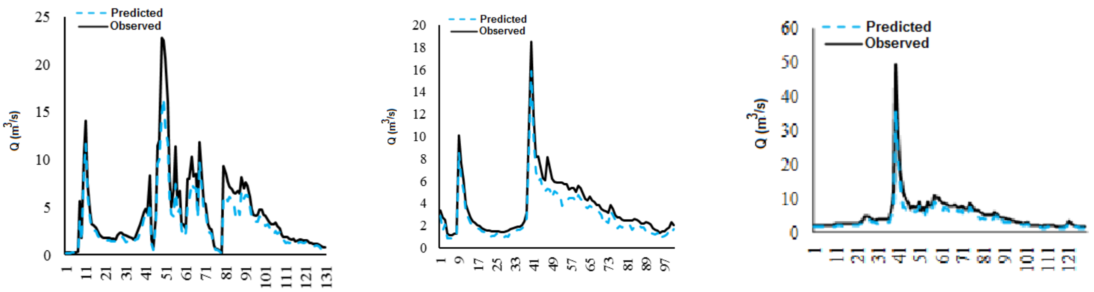
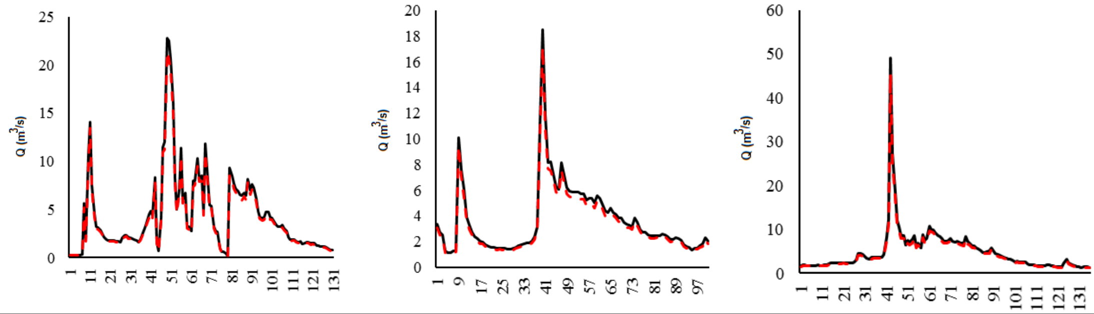


(b) (ب) (a) (الف)

شکل ۶- نمودار تیلور برای تعیین بهترین الگوی استفاده‌شده در مرحله‌ی آزمون در مدل GEP (الف) و SVM (ب).
Figure 6- Taylor Diagram to Determine the Best Model Used in the Test Phase: GEP (a) and SVM (b) Models

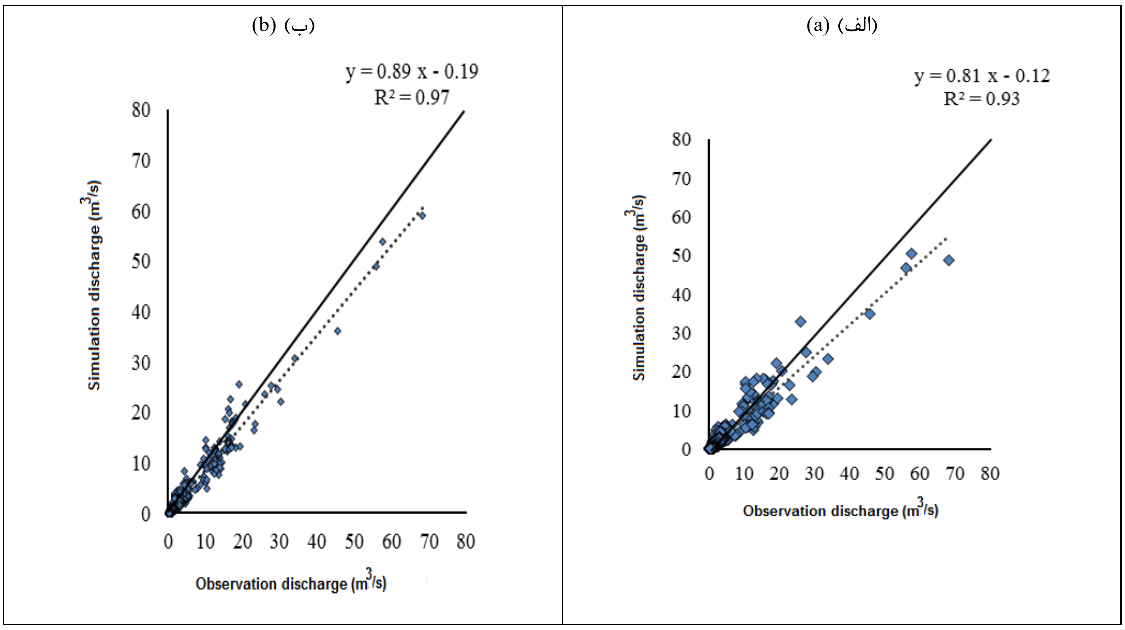
جدول ۴- شبیه‌سازی آب‌دهی در مرحله‌ی آزمایش با استفاده از مدل GEP و SVM.

Table 4- Flow simulation in the test phase using GEP and SVM methods.

Performance Testing of Flow Time Series in Parts of the Test Phase	Model
	GEP
	SVM

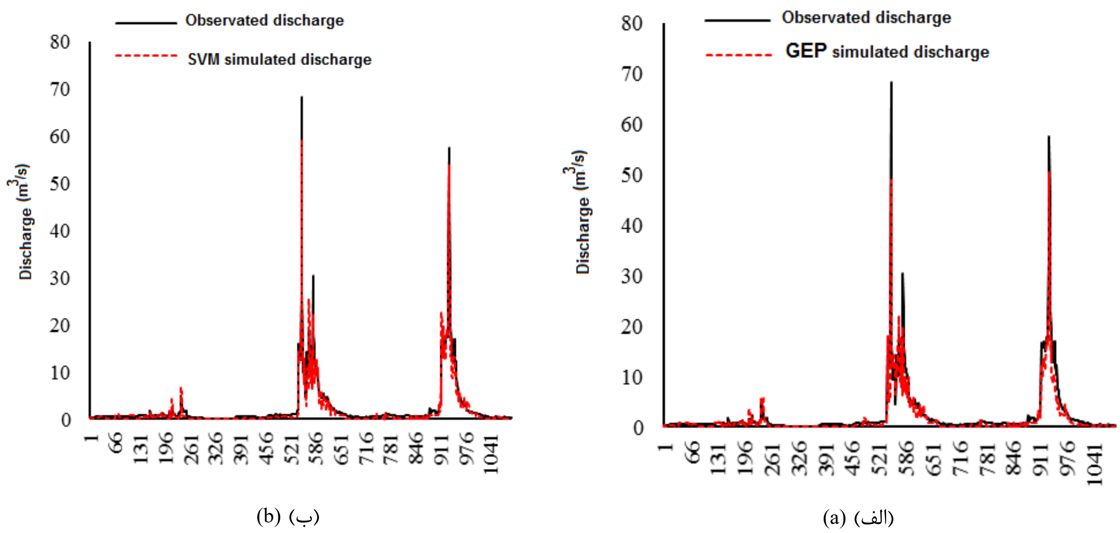
بـرای پیش‌بینی آب‌دهی جریـان در آبخیـز فریزی در مرحله‌ی آموزش در هر دو مدل مزبور از الگوی شـماره‌ی ۵ کـه بهترین نتایج را در مقایسـه با دیگر الگوها نشـان داد، استفاده شـد. پراکنش آب‌دهی شبیه‌سازی در مقابل آب‌دهی مشـاهده‌ای با اسـتفاده از دو مـدل بیان ژن و ماشـین بردار پشتیبان در شـکل ۷ نشان‌داده شده است. براسـاس نتایج این پژوهش و با توجه به شکل ۷-الف، در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن شـیب خط برازش کمتر از یک (برابر با ۰/۸۱) بـود، بنابراین این روش آب‌دهی جریان را کم‌تر برآورد کرد. براساس نتایج خط ۱:۱، در آب‌دهی‌های زیاد و سـیلابی این روش کم‌برآورد بود. نتایج این پژوهش بیان‌گر آن است که دقت مدل GEP در برآورد آب‌دهی‌های کم در مقایسه با آب‌دهی‌های سیلابی بیشتر بود. براساس نتایج این پژوهش و با توجه به شـکل ۷-ب، مدل ماشین بردار پشتیبان نیز آب‌دهی را کم برآورد کرد. مدل SVM نیز در آب‌دهی های کم برآورد بهتری را نشـان داد. نتایج این پژوهش در پیش‌بینی آب‌دهی جریان با استفاده از مدل GEP و SVM با نتایج پژوهش‌های انجام شـده در رود کارون، آبخیز دریاچه‌ی نمک، رود دز، رود کشـکان و رود باراندوزچای مطابقت داشـت (دهقانی و همکاران ۲۰۲۱؛ علی‌نژادی و همکاران ۲۰۲۱؛ شـریفی‌گرمدره و همکاران ۲۰۱۹؛ نوذری و توکلی ۲۰۱۸؛ احمدی و همکاران ۲۰۱۶). نتایج مربوط به آب‌دهی مشـاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده با مدل برنامه‌ریزی بیان ژن GEP و ماشـین بردار پشتیبان SVM در شکل ۸ نشان‌داده شده است. براساس پراکنش نتایـج مدل GEP و با توجه به شـکل ۸-الف، اندازه‌های برآوردی و مشـاهده‌ای به جز چنـد نقطه که اطراف خط ۱:۱ (خط نیمساز) نبودند، در دیگر نقاط روی خط برازش بودنـد. این یافته دلالت بر برابری اندازه‌های مشـاهده‌ای و محاسبه‌ای داشـت. همچنین نشـان‌دهنده‌ی عملکرد مطلوب این مدل در بـرآورد اندازه‌های جریان رود فریزی بود. اما مدل GEP در برآورد اندازه‌های سـیلابی عملکرد خوبی نداشت. یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های سـالاری‌جزی و همکاران (۲۰۱۶)، دهقانـی و همکاران (۲۰۱۷) و رحیمی و حافظ‌پرست‌مودت (۲۰۲۰) مطابقت داشت. براساس نتایج این پژوهش و با توجه به شکل۸-ب)، مدل ماشـین بردار پشـتیبان در برآورد برخی اندازه‌های سیلابی عملکرد قابل قبول نداشت، به‌گونه‌ای که اندازه‌های مشاهده‌ای از خط نیمساز فاصله داشت و برآورد بیشتری را نشان داد. این نتایج با نتایج پژوهش‌های قربانی و همکاران (۲۰۱۶)، احمدی و همکاران (۲۰۱۶)، دهقانی و همکاران (۲۰۲۱) و خداخواه و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی داشت. با توجه به شـکل ۸، هر دو مدل روند تغییرات آب‌دهی را به‌خوبی پیش‌بینی کردنـد و روش SVM آب‌دهی را در مقایسـه با مدل GEP بهتر پیش‌بینی کـرد. با توجه به نتایج این پژوهش مدل SVM در مقایسـه با مدل GEP آب‌دهی سـیلابی را بهتر پیش‌بینی کـرد. یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های انجام شده در رود تلوار و رود خرخره‌چای مطابقت داشـت (بایزیدی و همکاران ۲۰۱۸؛ بهمنش و همـکاران ۲۰۱۷). ارزیابی نتایج شبیه‌سـازی آب‌دهی در جدول ۵ آورده شـده اسـت. براسـاس نتایج به‌دسـت آمده، در دو مدل GEP و SVM ضریب نش-

ساتکلیف به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۸۵ بود، که بیان‌گر عملکرد خیلی خوب مدل در پیش‌بینی بود. براساس نتایج اریبی، هر دو مدل آب‌دهی را کم برآورد کردند. براساس نتایج به‌دست آمده، در دو مدل GEP و SVM اندازه‌های شاخص کلینگ-گوپتا، به‌ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۷۹ بود، که بیان‌گر مطابقت بهتر نتایج آب‌دهی مشاهده‌ای با نتایج مدل SVM بود.



شکل ۷- پراکندگی اندازه‌های آب‌دهی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله‌ی آزمون در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (الف) و ماشین بردار پشتیبان (ب).

Figure 7-Dispersion of Observed and Simulated Discharge Values in the Test Phase: Gene Expression Programming Model (a) and Support Vector Machine (b).



شکل ۸- گروه زمانی آب‌دهی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله‌ی آزمون در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (الف) و ماشین بردار پشتیبان (ب).

Figure 8- Time Series of Observational Discharge and Simulation in the Test Phase: Gene Expression Programming Model (a) and Support Vector Machine (b).

جدول ۵- نتایج معیارهای ارزیابی مدل‌های GEP و SVM در پیش‌بینی آب‌دهی در مرحله‌ی آزمون.

Table 5-The Evaluation Criteria Results of GEP and SVM Models in Discharge Prediction During the Test Stage.

Parameter	GEP	SVM
R^2	0.93	0.97
RMSE	1.65	1.15
NS	0.78	0.85
KGE	0.69	0.79

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، بررسی عملکرد مدل‌های برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) در برآورد آب‌دهی جریان روزانه در رود فریزی در ایستگاه موشنگ استان خراسان رضوی انجام شد. برای پیش‌بینی آب‌دهی با مدل‌های مزبور از میانگین آب‌دهی روزانه ایستگاه موشنگ در دوره‌ی آماری ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ استفاده شد. همچنین، برای مدل‌سازی از الگوهای مختلف آب‌دهی روزهای پیشین (گام تأخیر) استفاده شد. در این پژوهش، میان مدل‌های استفاده‌شده، بهترین الگوی ورودی، الگوی شماره ۵ بود که در آن متغیرهای آب‌دهی پیشین با پنج گام زمانی تأخیر استفاده شدند و در مرحله‌ی آموزش مدل‌های GEP و SVM در پیش‌بینی آب‌دهی روزانه ایستگاه موشنگ بهترین عملکرد را داشتند. در تبیین نتایج شکل ۸، می‌توان گفت که معادله‌ی به‌دست آمده از برنامه‌ریزی بیان ژن از ترکیب تصادفی مجموع تابع‌ها به‌دست می‌آید. همچنین اگر رابطه‌ی میان ورودی‌ها و خروجی‌ها خطی باشد و از عملگرهای cos، sin و... در استخراج رابطه استفاده شود، دقت مدل کاهش می یابد. در این پژوهش برای سهولت و افزایش دقت از عمل‌های چهارگانه‌ی ریاضی استفاده شد. در تبیین نتایج شکل ۸، می‌توان گفت که عملکرد ماشین بردار پشتیبان بر مبنای اصل استقرای کمینه‌سازی خطای ساختاری است. از این رو در شبیه‌سازی، با به‌کارگیری روش یادگیری با نظارت در تابع‌های RBF باعث شد این روش در برآورد سنجه، سرعت بیشتر و خطای کمتری در مقایسه با دیگر تابع‌های کرنل داشته باشد. در این ایستگاه نتایج مدل SVM براساس معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا و نش-ساتکلیف مطابقت بهتری داشت و کارایی آن در پیش‌بینی آب‌دهی روزانه خیلی خوب بود. از این رو، استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی بیان ژن، به‌علت دقت خیلی‌خوب و نیز توانایی در ایجاد رابطه‌ی مطلوب میان سنجه‌های ورودی و خروجی برای شبیه‌سازی میانگین و حداکثر آب‌دهی روزانه در ایستگاه موشنگ پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

Abdollahi S, Raeisi J, Khalilianpour M, Ahmadi F, Kisi O. 2017. Daily mean stream flow prediction in perennial and non-perennial rivers using four data driven techniques. Water Resources Management. 31(15): 4855-4874. https://doi.org/10.1007/s11269-017-1782-7.

Ahmadi F, Radmanesh F, Mirabbasi R. 2016. Comparison between genetic programming and support vector machine methods for daily river flow forecasting (Case study: Barandoozchay River). Water and Soil. 28(6): 1162-1171. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.32406.

Ahmadyousefi S, Bahremand A, Sheikh V, Komaki CB. 2019. Determining the snow coefficient in order to simulate the snow melting in the Shemshak watershed using the WetSpa model. Iranian Journal of Watershed Management Science. 13(47): 1-8. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.20089554.1398.13.47.3.1

Alinezhadi M, Mousavi SF, Hosseini K. 2021. Comparison of gene expression programming (GEP) and parametric and non-parametric regression methods in the prediction of the mean daily discharge of Karun river (A case study: Mollasani hydrometric station). Journal of Water and Soil Science. 25(1): 43-62. (In Persian). https://doi.org/10.47176/jwss.25.1.1012

Azinmehr M, Bahremand A, Kabir A. 2016. Parameter sensitivity and uncertainty analysis of the model WetSpa in the flow hydrograph simulation using PEST in Dinvar Basin Karkheh. Journal of Watershed Management Research. 7(1): 82-72. (In Persian). https://doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.82.

Bahremand A, Corluy J, Liu Y, De Smedt F, Poórová J, Velcická L. 2005. Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin Slovakia. Floods from defence to management. London: Taylor-Francis Group. pp. 67-74.

Bayazidi M, Asadzadeh F, Kaki M. 2018. The application of intelligent techniques for predicting daily flow at Telvar basin river. Iranian journal of Ecohydrology. 5(1): 203-213. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ije.2018.223015.386.

Behmanesh J, Mostafavi S, Zamanzad Ghavidel S. 2017. Use of soft calculations at estimation and prediction of environmental flow discharge (Case study: Khorkhoreh Chay river). Journal of Civil and Environmental Engineering. 47(3): 9-22. (In Persian).

Dehghani R, Yonesi H, Torabi Poudeh H. 2017. Comparing the performance of support vector machines gene expression programming and bayesian networks in predicting river flow (Case study: Kashkan River). Journal of Water and Soil Conservation. 24(4): 161-177. (In Persian). https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.12398.2701.

Dehghani R, Torabi H, Younesi H, Shahinejad B. 2021. Application of wavelet support vector machine (WSVM) model in predicting river flow (Case study: Dez Basin). Watershed Engineering and Management. 13(1):98-110. (In Persian). .https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.128735.1748.

Delafrouz H, Ghaheri A, Ghorbani MA. 2018. A novel hybrid neural network based on phase space reconstruction technique for daily river flow prediction. Soft Computing. 22(7):2205-2215. https://doi.org/10.1007/s00500-016-2480-8.

Fatemi SE, Darabi Cheghabaleki S, Hafezparast M. 2022. The effect of preprocessing and reducing the input dimensions of the flow prediction model on optimized support vector regression by genetic algorithm. Advanced Technologies in Water Efficiency. 1(1): 24-47. (In Persian). https://doi.org/10.22126/atwe.2021.6660.1002.

Ghorbani MA, Khatibi R, Goel A, FazeliFard MH, Azani A. 2016. Modeling river discharge time series using support vector machine and artificial neural networks. Environmental Earth Sciences. 75(8): 1-13. https://doi.org/10.1007/s12665-016-5435-6.

Ghorbani MA, Khatibi R, Karimi V, Yaseen ZM, Zounemat-Kermani M. 2018. Learning from multiple models using artificial intelligence to improve model prediction accuracies: application to river flows. Water Resources Management. 32(13): 4201-4215. https://doi.org/10.1007/s11269-018-2038-x.

Hussain D, Khan AA. 2020. Machine learning techniques for monthly river flow forecasting of Hunza River Pakistan. Earth Science Informatics. 13(3): 939-949. https://doi.org/10.1007/s12145-020-00450-z.

Isazadeh M, Biazar S, Ashrafzadeh A, Khanjani R. 2019. Estimation of aquifer qualitative parameters in Guilans Plain using gamma test and support vector machine and artificial neural network models. Journal of Environmental Science and Technology. 21(2):1-21. (In Persian) https://doi.org/10.22034/jest.2019.13946.

Khashei-Siuki A, Sarbazi M. 2015. Evaluation of ANFIS ANN and geostatistical models to spatial distribution of groundwater quality (Case study: Mashhad Plain in Iran). Arabian Journal of Geosciences. 8:903–912. https://doi.org/10.1007/s12517-013-1179-8.

Khodakhah H, Aghelpour P, Hamedi Z. 2022. Comparing linear and non-linear data-driven approaches in monthly river flow prediction based on the models SARIMA LSSVM ANFIS and GMDH. Environmental Science and Pollution Research. 29(15): 21935-21954. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17443-0

Nivesh S, Negi D, Kashyap PS, Aggarwal S, Singh B, Saran B, Sihag P. 2022. Prediction of river discharge of Kesinga sub-catchment of Mahanadi basin using machine learning approaches. Arabian Journal of Geosciences. 15(16): 1-19. https://doi.org/10.1007/s12517-022-10555-y.

Nozari H, Tavakoli F. 2018. Stream flow prediction using support vector machine based on discharge and precipitation time series on upstream stations (Case study: Taleh Zang hydrometric station). Modeling in Engineering. 16(54): 95-104. (In Persian) https://doi.org/10.22075/jme.2017.11363.1112.

Pandhiani SM, Sihag P, Shabri AB, Singh B, Pham QB. 2020. Time-series prediction of stream flows of Malaysian rivers using data-driven techniques. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 146(7): 04020013. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001463.

Rahimi B, Hafezparast Mavaddat M. 2020. Comparison of SVM GEP and IHACRES models in prediction of runoff changes due to climate change (Case study: Jamishan Dam). Iranian Journal of Soil and Water Research. 51(10): 2483-2499. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.303779.668640.

Sahoo A, Samantaray S, Ghose DK. 2021. Prediction of flood in Barak River using hybrid machine learning approaches: a case study. Journal of the Geological Society of India. 97(2):186-198. https://doi.org/10.1007/12594-021-1650-1.

Salarijazi M, Ghorbani K, Sohrabian E, Abdolhosseini M. 2016. Prediction of daily stream-flow using data driven models. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 10(4):479-488. (In Persian).

Samadi M, Fathabadi A. 2019. Application of time series ANN and SVM models in forecasting the Gorgan dam inflow rate. Environment and Water Engineering. 4(4): 299-309. (In Persian). https://doi.org/10.22034/jewe.2018.128256.1256.

Sattari M, Rezazadeh A, Safdari F, Ghahramanian F. 2016. Performance evaluation of M5 tree model and support vector regression methods in suspended sediment load modeling. Water and Soil Resources Conservation. 6(1): 109-124. (In Persian).

Shaofu M, Al-Juboori AM, Alwan AH, Abdel-Salam ASG. 2021. On the investigation of monthly river flow generation complexity using the applicability of machine learning models. Complexity. pp. 1-14. https://doi.org/10.1155/2021/3721661

Sharifi Garmdareh E, Vafakhah M, Eslamian S. 2019. Assessment the performance of support vector machine and artificial neural network systems for regional flood frequency analysis (a case study: Namak Lake watershed). Journal of Water and Soil Science. 23(1): 351-366. (In Persian). https://doi.org/10.29252/jstnar.23.1.26.

Solgi A, Zareie H, Golabi M. 2017. Performance assessment of gene expression programming model using data preprocessing methods to modeling river flow. Journal of Water and Soil Conservation. 24(2):185-201. (In Persian) https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.11353.2573.

Taylor KE. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 106(D7): 7183-7192. https://doi.org/10.1029/2000JD900719.

Zeinalie M, Golabi M, Niksokhan M, Sharifi M. 2020. Modeling daily river flow using simulator meta-models (Case study: Gamasiab River). Journal of Environmental Science and Technology. 22(4): 121-133. (In Persian). https://doi.org/ 10.22034/jest.2020.33087.4089.

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

Agricultural Research, Education and Extension Organization

ISSN: 2981-2038

Prediction of Ferizi River-Flow Using Data-Driven Models

Saber Jamali[1], Fereshte Rahimi Aghcheshme[2], Mohammad Javad Amiri[3*]

1- PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Ph.D. Candidate, Department of Range and Watershed management, Faculty of Natural Resource and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

Rivers serve as crucial sources of freshwater on Earth, and precise prediction of river flows plays a vital role in effective water resource management. To address this need, researchers have proposed various models. These models can be categorized into two types: (1) hydrological/hydraulic physically based models and (2) data-driven models. The cited papers provide evidence of the significance of employing data-driven models for hydrological issues, particularly in predicting river discharge.

Materials and Methods

In this study, the researchers utilized a gene expression programming model (GEP) and support vector machine (SVM) to predict the discharge of the Ferizi River. The dataset used in the study covered a period of ten years (2011-2020) and consisted of daily Ferizi river discharge readings obtained from the Moushang hydrometry station. The study area had an average altitude of 2171 meters above sea level, with a longitude range of 58° 49’ 30” to 59° 4’ 30” E and a latitude range of 36° 20’ 1” to 36° 32’ 1”. For the prediction models, daily river discharge data from 1 to 5 days ahead were utilized as input variables for both the GEP and SVM models. To ensure data homogeneity and address any deficiencies, the researchers employed the run test and calculated the correlation coefficient between neighboring stations. Subsequently, the dataset was randomly divided into two groups: 80% for model training and 20% for model testing, as well as evaluating the modeling error. The performance of

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** mj_amiri@fasau.ac.ir

Citation: Jamali, S., Rahimi Aghcheshme, F., Amiri M.j. 2024. Prediction of Ferizi river-flow Using Data-Driven Models. Watershed Management Research. 37(1): 81-97.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360554.1504

Received: 29 November 2022, **Received in revised form:** 03 January 2023, **Accepted:** 19 March 2023,

Published online: 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 81-97.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

the models was assessed during the training and validation stages using various evaluation metrics, including root mean square error (RMSE), coefficient of correlation (R), bias, Kling Gupta (KGE), and Nash–Sutcliffe model efficiency (NSE). Additionally, in order to estimate the inflow to the Ferizi River using the SVM model, three common types of kernel functions in hydrology were examined, namely linear kernel, polynomial, and radial basis functions.

Results and Discussion

Among the different functions considered, the radial basis function was selected due to its lower error compared to other functions when applied to the variables. The best input model, Model No. 5, incorporated previous flow variables with a delay of five time steps. In the training phase, both the GEP and SVM models exhibited the highest performance in forecasting the daily flow of Moshang station. The performance of the applied models suggests that SVM (RSME = 1.15, R = 0.985, NSE = 0.85, and KGE = 0.79) demonstrates higher precision in the validation stage for river discharge prediction compared to GEP (RSME = 1.65, R = 0.964, NSE = 0.78, and KGE = 0.69).

Conclusion and Suggestions

This study has demonstrated that the utilization of soft computing techniques, such as SVM and GEP, is a powerful tool in predicting river flow. These techniques are capable of establishing a favorable relationship between input and output parameters, enabling accurate simulation of average and maximum daily flow.

Keywords: **Artificial intelligence, Ferizi watershed, gene expression, runoff, soft computing**

پژوهش های آبخیزداری

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن خاک در پارک ملی بمو استان فارس

رهام رحمانی[1*]، سید حمید مصباح[2]

۱ - استادیار پژوهشی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲ - مربی پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه

گاز دی‌اکسیدکربن که از کاربرد سوخت‌های فسیلی صنایع در مراکز صنعتی و نزدیکی کلان شهرها تولید می‌شود، سهم زیادی در تغییر اقلیم و گرمایش جهانی دارد. نگهداشت کربن در گیاهان و خاک منطقه‌های حفاظت‌شده به‌ویژه پارک‌های ملی طبیعی، ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین راه‌کار برای کاهش دی‌اکسیدکربن جو است. پارک ملی بمو با مساحت ۴۶۹۱۳ هکتار در نزدیکی مراکز صنعتی شیراز، زرقان، مرودشت و آب‌باریک؛ ظرفیت بزرگی را برای نگهداشت کربن فراهم کرده است. در این پژوهش تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن در خاک این پارک در سال ۱۴۰۱، انجام شد.

مواد و روش‌ها

براساس شرایط پوشش گیاهی و زمین‌ریخت‌شناسی، به‌ترتیب ۲۰ و ۵ جایگاه در داخل و خارج پارک برای نمونه‌گیری گزینش شد. نمونه‌های مرکب خاک از ۲۵ نیم‌رمرخ به ژرفای ۳۰ و درازا و پهنای ۲۰، سانتی‌متر، برداشت شد. درصد کربن آلی خاک در آزمایشگاه با روش والکلی بلک تعیین شد. ارزیابی اقتصادی کربن نگهداشت‌شده با روش هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در سه سطح کم و براساس ارزش تجارت در صندوق کربن، متوسط و براساس برآورد آینده‌ی تجارت کربن اتحادیه اروپا و زیاد براساس برآورد هیأت بین‌دولتی تغییر اقلیم انجام شد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** r.rahmani@areeo.ac.ir - roham.rahmani@gmail.com

استناد: رحمانی، ر.، مصباح، س-ح. ۱۴۰۳. تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن خاک در پارک ملی بمو استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۴): ۹۸-۱۱۳.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360369.1496

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۱/۱۹، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۳/۳۱، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های۹۸ تا ۱۱۳.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی فارس

نتایج

براساس نتایج اندازه‌های میانگین کربن نگهداشت‌شده در خاک زمین‌های داخل و خارج پارک به‌ترتیب ۴۰/۰۵ و ۲۱/۷۵ تن در هکتار بود. براساس آزمون t اندازه‌های میانگین کربن نگهداشت‌شده داخل و خارج پارک در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار داشت. میانگین ارزش اقتصادی خسارت اجتناب‌شده مربوط به نگهداشت کربن به ازای هر هکتار زمین در داخل پارک در سطح‌های کم، متوسط و زیاد، به‌ترتیب ۱۲۳/۱۲، ۴۱۰/۴۱ و ۳۲۸۳/۲۶ میلیون ریال برآورد شد. اندازه‌های متناظر در خارج از پارک به‌ترتیب ۶۶/۸۶، ۲۲۲/۸۸ و ۱۷۸۳/۰۴ میلیون ریال برآورد شد. میانگین ارزش اقتصادی کربن نگهداشت‌شده در خاک هر هکتار زمین داخل و خارج پارک براساس آزمون t در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شرایط مناسب پوشش گیاهی و خاک پارک ملی بمو سبب‌شده به‌دلیل خدمات زیست‌محیطی نگهداشت کربن در خاک و جذب گاز دی اکسیدکربن، این پارک ارزش اقتصادی زیادی داشته باشد. بنابراین این امکان وجود دارد که ارزش اقتصادی چنین خدماتی در محاسبه‌های مالی لحاظ شود و همه یا بخشی از آن برای حفاظت و گسترش این پارک‌ها در نظر گرفته شود. نکته‌ی مهم درباره‌ی ارزش اقتصادی خدمات پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی، امکان خرید و فروش کربن نگهداشت‌شده و یا گاز دی‌اکسیدکربن منتشرشده در جو می‌باشد. برای این منظور پیشنهاد می‌شود به چارچوب‌های قانونی و زیرساخت‌های لازم برای ایجاد بازار کاربردی نگهداشت کربن و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در سطح‌های ملی و منطقه‌ای توجه شود. افزون بر این، با توجه به قابلیت‌های طبیعی استان و معیارهای معاهده‌های بین‌المللی تغییر اقلیم، امکان استفاده از سرمایه‌ی خارجی برای کمک به ایجاد و گسترش پارک‌های ملی و زیست‌بوم‌های جنگلی به‌عنوان مخزن‌های گازهای گلخانه‌ای وجود دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود از این راه‌کارهای قانونی برای جذب اعتبار از سازمان‌های بین‌المللی استفاده شود.

واژگان کلیدی: پارک ملی بمو، نگهداشت کربن، خاک، فارس، هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده

مقدمه

گسترش تغییر کاربری زمین، استفاده از سوخت‌های فسیلی، تولید انواع مواد شیمیایی و پسماندهای زیان‌آور که با فزونی جمعیت شتاب بیشتری می‌گیرد، پی‌آمدهای ناگواری برای زیست بشر و سایر زیستمندان دارد. افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن و تجمع آن ها در جو زمین از نتایج گسترش این فعالیت‌ها است.

براساس نتایج بررسی‌ها، میانگین تراکم جهانی دی‌اکسیدکربن که قبل از دوره‌ی صنعتی شدن حدود ۲۸۰ ppm بوده، در اواخر دهه‌ی ۹۰ به ۳۶۰ ppm رسیده است. پیش‌بینی می‌شود تراکم این گاز در شرایط مهار نشدن به بیش از ۱۰۰۰ ppm برسد (رجبی ۲۰۱۱؛ محمودی و همکاران ۲۰۲۲). مهم‌ترین پیامد منفی اثر گلخانه‌ای افزایش دمای زمین است که از آن به عنوان یکی از شاخص‌های تغییر اقلیم نام برده می‌شود. اگر چه تغییر اقلیم پدیده‌ای نو نیست، اما دانشمندان بر این باورند که زمان و شدت آن در نتیجه‌ی فعالیت‌های انسان تغییر می‌کند (صیادیان و بهشتی‌آل‌آقا ۲۰۰۷). زمانی که نگرانی‌ها درباره‌ی آثار تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های انسان زیاد شد تمایل زیادی برای افزایش نگهداشت کربن در پوشش گیاهی زمین از روش‌های حفاظت از جنگل، جنگل‌کاری و دیگر روش‌های مدیریت زمین به‌وجود آمد. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داد که قابلیت جهانی برای افزایش نگهداشت کربن در جنگل و زیست‌بوم‌های کشاورزی ممکن است به اندازه‌ی ۶۰ تا ۹۰ پتاگرم (10^{15}=) (میلیارد تن) کربن باشد (دیکسون و همکاران ۱۹۹۱؛ برون ۲۰۰۲).

از جمله روش‌های کاهش دی‌اکسیدکربن جو، جداسازی کربن از جو و نگهداری آن در بافت‌های گیاه، خاک، رسوب و آب‌های شور می‌باشد.

به این روش که به افزایش تراکم یا نگهداری کربن آلی در خاک و در مرحله‌ی بعد کربنات‌های خاک منجر می‌شود، نگهداشت کربن[1] گویند و به دو شیوه‌ی زیستی و غیرزیستی انجام می‌شود. از آن جا که از روش غیرزیستی در بیشتر منطقه‌های دنیا، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، به سبب هزینه‌های زیاد و دشواری‌های فنی، کمتر می‌توان استفاده کرد، در چند دهه‌ی اخیر

1 - Carbon Sequestration

به‌روش زیستی بیشتر توجه‌شده است (صیادیان و بهشتی‌آل‌آقا ۲۰۰۷، مصباح ۲۰۱۳).

براساس بررسی‌های برنامه‌ی عمران سازمان ملل متحد[2]، تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه‌ی پایدار است که تاثیر منفی بر زیست‌بوم‌های خشکی و دریایی دارد (برنامه‌ی توسعه‌ی سازمان ملل متحد ۲۰۰۰). کاهش سطح خشکی‌ها، کاهش ماده‌ی آلی خاک، انقراض گونه‌های بی‌شمار گیاهی و جانوری و برخی از رخدادهای طبیعی چون طوفان و سیل، تنها بخشی از آثار زیان‌بار این پدیده هستند (مصباح ۲۰۱۳). پژوهش‌گران بر این باورند که عامل اصلی تغییر اقلیم، افزایش تراکم دی‌اکسیدکربن در جو است. نگرانی‌ها از شتاب کربن ورودی به جو و آثار آن سبب شد تا در سال ۱۹۹۲ بیشتر کشورهای جهان و از جمله ایران پیمان[3] تغییر اقلیم را امضاء کنند. هدف دراز مدت این پیمان یافتن راه‌کارهایی برای موازنه‌ی دی‌اکسیدکربن در جو است. برای اجرایی شدن، در سال ۱۹۹۷ در کیوتو موافقت‌نامه‌ای به تصویب بیشتر کشورهای توسعه‌یافته صنعتی رسید که در آن این کشورها برای یافتن روش‌هایی برای کاهش تراکم این گاز متعهد شدند (فروزه ۲۰۰۶). براساس ماده‌ی ۵ موافقت‌نامه‌ی ۲۰۱۵ تغییر اقلیم پاریس، کشورها باید مخزن‌هایی مانند جنگل‌ها را برای نگهداری گازهای گلخانه ای ایجاد کنند (UNFCC[4] ۲۰۱۶). همچنین در گردهمایی ۲۰۲۲ تغییر اقلیم شرم‌الشیخ بر اهمیت حفاظت، احیای طبیعت و زیست‌بوم‌ها از جمله جنگل‌ها و سایر منطقه‌های زمینی و دریایی برای دست‌یابی به هدف دمایی توافق پاریس تأکید شد. زیست‌بوم‌هایی که به‌عنوان مخزن های گازهای گلخانه‌ای عمل می‌کنند و از تنوع زیستی محافظت و در عین حال پادمان‌های اجتماعی و زیست محیطی را تضمین می‌کنند (UNFCC ۲۰۲۲).

براساس معیارهای بین‌المللی پیمان تغییر اقلیم ملل متحد به کشورها اجازه داده می‌شد که به‌منظور انجام تعهداتشان برای مهارکردن انتشار گازهای گلخانه‌ای، تجارت گازهای گلخانه‌ای را انجام دهند. باید به این سئوال توجه شود که چگونه جنگل‌ها در سازوکار انعطاف‌پذیر شبه بازاری کشورهای شرکت‌کننده در پیمان وارد شوند. گزینه‌های زیستی نگهداشت کربن مانند جنگل شامل محافظت و مدیریت جنگل‌های بسته موجود، ترمیم جنگل‌های در حال نابودی یا نابودشده، ایجاد و کاشت جنگل، سامانه‌های جنگل‌داری- کشاورزی و جنگل‌های جدید در مناطق باز است (ماسرا و همکاران ۱۹۹۵؛ دیکسون و همکاران ۱۹۹۶؛ ساتایه و راوین‌دراناه ۱۹۹۷). یافته‌های اولیه از تعدادی از طرح‌های خاص جنگل‌کاری که براساس اثر نگهداشت کربن تأمین اعتبار شده‌اند، نشان می‌دهد که هزینه‌ی نگهداشت کربن به‌وسیله‌ی جنگل‌کاری یا شکل‌های دیگر مدیریت زمین در مقایسه با بسیاری از راه‌حل‌های مهندسی کاهش انتشار گاز CO_2 نسبتاً کمتر است (دی‌جانگ و همکاران ۲۰۰۰، ساتایه و راوین‌دراناه ۱۹۹۷). زمانی که سرمایه‌ی به‌دست آمده از نگهداشت کربن به یک کالای تجاری در فرآیند مهارکردن انتشارها تبدیل شود (چیزی که در شرایط کنونی تا حدی در هلند به‌کار برده می‌شود)، واکنش عرضه به تغییرات قیمتی نگهداشت کربن (مگاگرم کربن نگهداری‌شده به ازای دلار آمریکا) موضوعی اساسی در تعیین اندازه‌ی کل کربن نگهداری‌شده خواهد بود. به‌کارگیری راه‌کاری مناسب برای پرداخت مبالغی متناسب به مالکان زمین برای نگهداشت کربن می‌تواند باعث شود که اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده به سرعت افزایش یابد. در جنوب مکزیک در پژوهشی برآورد شد، زمانی‌که پرداختی به‌ازای هر مگاگرم کربن از ۵ دلار به ۱۵ دلار افزایش یافت، اندازه‌ی نگهداشت کربن از یک مگاگرم به ۳۸×۱۰^{۶} مگاگرم کربن (غالبا به‌دلیل بهبود مدیریت جنگل‌های طبیعی و پوشش گیاهی ثانویه) افزایش پیدا کرد. بنابراین مدیریت جنگل‌های طبیعی و پوشش گیاهی ثانویه مهم‌ترین عامل برنامه‌ی نگهداشت کربن در مقیاس وسیع در جنگل‌ها است. مدیریت موفق نیازمند سازوکارهایی به‌منظور پذیرش روش‌های مدیریتی برای لحاظ کردن اطلاعات جدید درباره‌ی سرعت رشد جنگل و تغییر شرایط اقتصادی – اجتماعی است (دی‌جانگ و همکاران، ۲۰۰۰).

اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک و ارزش اقتصادی آن و یا هزینه‌ی انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسید کربن در پژوهش‌های مختلفی برآورد شده است. در جنوب شرقی چین براساس نتایج بررسی دنگ و همکاران (۲۰۱۱) اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک در زیست‌بوم جنگلی منطقه‌ی تیانتای استان ژجیانگ ۶۳/۷۷ تن در هکتار و ارزش اقتصادی آن براساس ارزش مالیات بر کربن ۱۰۲۵ یوان برای هر تن ۶۳۴/۲۴ هزار یوان به‌دست

2 - United Nations Development Program (UNDP)
3 - Convention
4 - United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC)

آمـد. پژوهش‌گران بـا توجه به اهمیت این زیسـت‌بوم جنگلـی، حفاظـت، نگهـداری، بهبـود مدیریت منبع جنگلـی، تأکید بر حفاظت از منابع خاکی و توجه دولت محلـی بر نگهداری خاک زمین‌هـای جنگلی و پایداری کربن آلی خاک این زیسـت‌بوم را پیشنهاد دادند. پاری و همکاران (۲۰۱۴) هزینه‌های جانبی مربوط به انتشـار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن را مبنای هزینه‌ی خسارت و ارزش اقتصادی جذب ایـن گاز در نظر گرفتند. آن‌ها بر این اسـاس میانگین هزینه‌ی خسـارت هر تن از این گاز را بـرای ۲۰ کشـور (از جمله ایران) که بیشـترین اندازه‌ی انتشار را داشـتند ۵۷/۵ دلار برآورد کردند. در جنوب‌شرقی کامرون زیفک و همکاران (۲۰۱۶) اندازه‌ی کربن نگهداری‌شـده و گاز آلاینده‌ی دی اکسـیدکربن جذب‌شـده در زی‌توده‌ی اندام‌هـای هوایی و زیرزمینی درختان پارک محافظت‌شـده‌ی ملی لوبیک را به‌ترتیب ۳۷۴/۲ و ۱۳۶۷/۸۹ تـن در هکتـار بـرآورد کردنـد. پژوهش‌گـران با توجه به مسـاحت پـارک (۲۱۷۸۵۴ هکتار)، کل گاز آلاینده‌ی دی‌اکسید کربن جذب‌شده را حدود ۲۹۸ میلیـون تن و ارزش اقتصادی این خدمات زیست‌محیطی را حدود ۱/۴۳ میلیارد دلار آمریکا برآورد کردند. بر این اسـاس پژوهش‌گران پارک لوبیک را یک منبع نگهداشت کربن در آفریقا معرفی کردند.

در استان تهران براساس نتایج بررسی نصری و همکاران (۲۰۱۶) در مراتع خشـک و نیمه‌خشـک شهرسـتان ملارد، اندازه‌ی جذب سـالانه‌ی دی-اکسیدکربن ۲/۱۳ تـن در هکتار و ارزش اقتصادی آن ۸۱۳/۸ میلیارد ریال برآورد شد. در خراسـان شمالی نتایج پژوهش نیک‌نهاد و همـکاران (۲۰۱۸) بیان‌گر آن بـود که اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در مراتع قرق‌شده و چراشده در منطقه‌ی بزداغی به‌ترتیـب ۲۴/۲۳ و ۱۷/۰۹۴ تن در هکتار بود. تفاوت اندازه‌ی کربن نگهداری‌شـده در مراتع قرق‌شده در مقایسـه با مراتع چراشده ۷/۱۴ تن بود که در خاک پهنه‌ی قرق‌شده بیشتر از پهنه‌ی چراشده بود و در سطح ۵٪ ایـن تفاوت معنی‌دار بود. با درنظر گرفتن ۲۰۰ دلار برای هـر تن کربن نگهداری‌شـده، ارزش اقتصادی به-دسـت آمده از نگهداشـت کربن در منطقه‌ی قرق‌شده ۱۴۲۷/۲ دلار در هکتار برآورد شد.

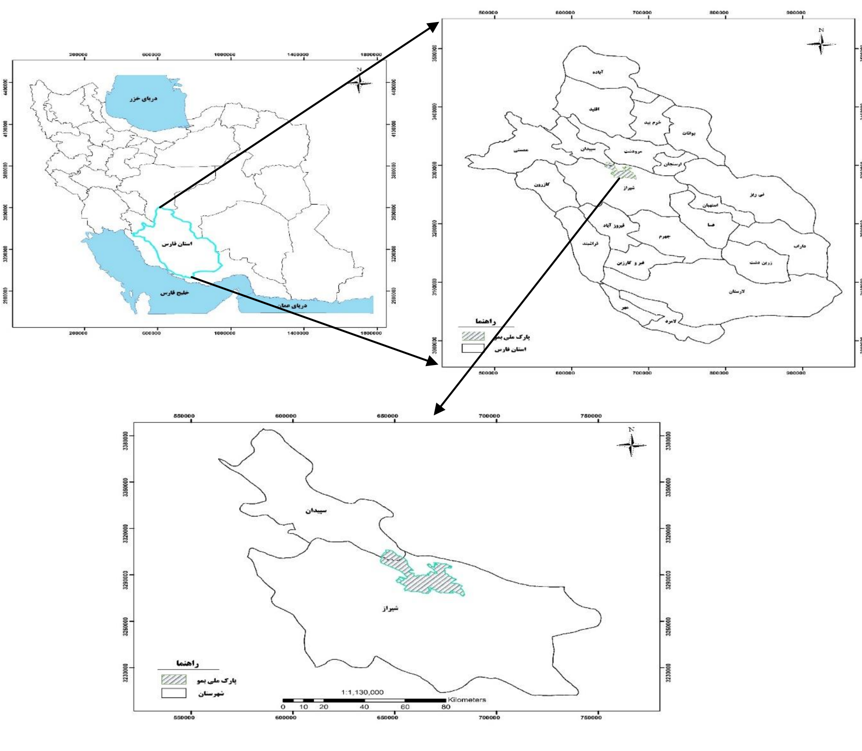
در مالزی حسـین‌زاد و محدیوسـف (۲۰۲۰) در پارک ملی تامان نـگارا پاهانگ قابلیت جـذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسـیدکربن مربوط به نگهداشت کربن را ۵۷۵/۵۴ تـن در هکتـار و ارزش اقتصـادی آن را ۱۰۶۴۷/۴۳ رینگت مالزی برآورد کردند. براساس نتایج پژوهش آن‌ها منطقه‌هایی از پارک که پوشـش جنگلی تراکم بیشتری داشت، ارزش اقتصادی بیشـتری نیز داشتند. در استان گلسـتان براسـاس نتایج بررسی عسـگری و همکاران (۲۰۲۱) در منطقه دوزالوم اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در خاک مراتع قرق‌شـده و شـاهد به‌ترتیـب ۲/۸۹ و ۲/۷۳ تـن در هکتار بود و به مدت ۱۵ سـال قرق مرتع بر اندازه‌ی کربن نگهداری‌شـده در خاک اثر معنی‌داری نداشـت. با درنظر گرفتـن ۲۵/۳ دلار (هر دلار ۳۵ هزار ریال) برای هر تن کربن نگهداری‌شـده ارزش اقتصادی کربن نگهداری‌شده در هر هکتار خاک مراتع قرق‌شده و شاهد به‌ترتیب ۲/۵۶ و ۲/۴۱ میلیون ریال برآورد شد. در استان فارس نتایج پژوهش زرافشار و همکاران (۲۰۲۱) در منطقه دشت ارژن بیان‌گر آن بود که قابلیت ذخیره‌ی گاز دی-اکسیدکربن در هر هکتار خاک زیرپوشش دو گونه‌ی سدروس و جنگل طبیعی بلوط ایرانی به‌ترتیب ۳۸۷/۹ و ۳۴۸/۶ تن بود. آن‌ها ارزش اقتصادی کل ذخیره‌ی کربن در ایـن دو کاربری را ۲۰۰ دلار (هر دلار ۴۲ هزار ریال) برای هر تن دی‌اکسیدکربن ذخیره‌شده به‌ترتیب ۳/۲۵۸ و ۲/۹۳۲ میلیارد ریال در هکتار برآورد کردند. همچنین تبدیل زمین‌های جنگلی طبیعی به زمین‌های کشاورزی باعث کاهش ۷۹/۳٪ اندازه‌ی ذخیره کربن در خاک شد. در کشـور رومانی پاچه و همکاران (۲۰۲۱) کل اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در پارک ملی رتیزات در سال ۲۰۱۹ را حدود ۶/۰۲ میلیون تن و در سال ۲۰۲۹ حدود ۶/۲۵ میلیون تن برآورد کردند. آن‌ها گزارش کردند که به‌طور متوسط ۳۰٪ کربن در زی‌توده‌ی بالای سطح زمین، ۹٪ در زی‌توده‌ی زیرزمین، ۵۳٪ در خاک و ۸٪ در مواد آلی مرده ذخیره‌شـده بود. همچنین ارزش خالص اقتصادی دی‌اکسـیدکربن جذب‌شده در دوره‌ی ده ساله ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۹ را براساس قیمت داوطلبانه ۳ دلار برای جذب هر تن گاز آلاینده‌ی دی‌اکسـیدکربن در بازار کربن حدود ۱/۷۱ میلیـون دلار آمریـکا برآورد کردنـد. این ارزش براسـاس قیمـت ۶۰ دلار (با توجه به پیمـان پاریس) ۳۴/۱۲ میلیون دلار آمریکا برآورد شد. این پژوهش‌گران معتقدند که برای استفاده‌ی پایدار از چنین زیست‌بومی که خدمات زیسـت‌محیطی را فراهـم می‌کند، می‌توان از راه‌کارهـای مالی برای مدیریت آن اسـتفاده کرد. به عبارت دیگر می‌تـوان با جهت دادن به راهکارهای مالی از ارزش خدمات زیسـت‌بوم برای مدیریت آن اسـتفاده کرد. در اسـتان چهارمحال و بختیاری سـلیمانی‌پور و همکاران (۲۰۲۲) اندازه‌های نگهداشـت کربن برای هر هکتار از جنگل‌های بلوط زاگرس در رویشـگاه جنگلی بهنوس براساس روش‌های آلومتریک و چگالی به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۷۴ تن در سال برآورد کردند. همچنین آن‌ها ارزش اقتصـادی مربوطه را به‌ترتیـب ۵۰/۰۵ و ۴۴/۴۷ دلار برآورد کردند.

براساس نتایج این پژوهش‌ها، اندازه‌ی نگهداشت کربن با توجه به شـــرایط خاک، مکان و شیوه‌ی مدیریت زمین‌ها (نوع پوشـــش و مدت قـــرق)، متفاوت اســـت. بنابراین با شـــناخت خاک‌هایی که قابلیت بیشتری برای نگهداشت کربن دارند و همچنین بررسی شـــیوه‌ی مدیریتی که بر فرایند نگهداشـــت تاثیرگذار اســـت، می‌توان به حفاظت زمین‌هـــا از دیدگاه نگهداشـــت کربن خـــاک توجه کرد. نکتـــه مهم‌تر این‌که با لحاظ نمودن رویکردهای اقتصادی و توجـــه به ارزش اقتصادی و تجـــارت گازهای گلخانه‌ای براساس راه‌کار شبه‌بازاری، امکان افزایش نگهداشت کربن وجـــود دارد. به عبارت دیگـــر، در صورتی که بتوان کربن نگهداری‌شده و گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن جذب‌شده را بـــه یک کالای تجـــاری در فرآیند مهارکردن انتشـــار گازهای گلخانه‌ای تبدیل کرد، امـــکان واکنش عرضه به تغییرات قیمتی وجـــود دارد. چنین رویکردی در فرآیند نگهداشت کربن می‌تواند نگرشی به ارزش پارک‌های ملی باشـــد، زیرا افزون بر نگهداری زمین، راه‌کاری موثر برای کاهش آلودگی هوا و مدیریت بحران تغییر اقلیم اســـت. شـــوربختانه در ایران به‌رغم وســـعت زیاد و توانایی بزرگ برای نگهداشـــت کربن در خـــاک، پژوهش‌های کاربردی محدودی در زمینه‌ی چگونگی به‌کارگیری سیاســـت‌های اقتصادی با توجه به واقعیت‌های فنی انجام شـــده است. هدف این بررسی تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن خاک یا جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن از راه پارک جنگلی ملی بمو در استان فارس، شهر شیراز است.

مواد و روش‌ها

پارک ملی بمو که از ســـال ۱۳۴۶ تاکنون قرق اســـت، با پهنه ۴۶۹/۱۳ کیلومترمربـــع (۴۶۹۱۳ هکتار) در جنوب ایران، استان فارس، حاشیه‌ی شمالی و شمال‌شرقی شیراز (طول جغرافیایی ′۲۹ °۵۲ تا ′۵۲ °۵۲ شـــرقی و عرض جغرافیایی ′۳۹ °۲۸ تا ′۳۰ °۲۹ شـــمالی)، است (شکل ۱). محدوده‌ی رسمی پارک خالی از نقاط مسکونی است ولـــی در پیرامون آن ۲۰ روســـتا، ده و آبادی وجود دارد. در حاشـــیه‌ی آن، شهرهای شیراز، صدرا و زرقان؛ شهرک صنعتی آب‌باریک و پالایشگاه شیراز است که منابع تولید گسترده‌ی دی‌اکسیدکربن هستند (مصباح ۲۰۱۳).

بـــر پایه‌ی آمار ۴۰ ســـاله (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۱)، ایســـتگاه هواشناســـی کشـــاورزی زرقان (نزدیک‌ترین ایستگاه به محل بررسی)، میانگین بارندگی سالانه ۳۰۸/۴ میلی‌متر، میانگین تعداد روزهای بارنی ســـالانه ۴۵، میانگین دمای سالانه^{0}C ۱۶/۵، بیشـــینه و کمینه‌ی مطلق دما به‌ترتیب ۴۲/۵ و^{0}C ۱۵-، میانگین رطوبت ســـالانه ۴۲ ٪، میانگین بیشینه‌ی رطوبت نسبی سالانه ۶۱ و کمینه‌ی آن ۲۳/۷٪، میانگیـــن دوره‌ی یخبندان ۶۸ روز در ســـال و میانگین ساعت آفتابی ۸/۹ ســـاعت در روز، است. این محدوده بر پایه‌ی روش دومارتن گســـترش‌یافته، در طبقه‌ی اقلیمی نیمه‌خشـــک معتدل، است (اداره‌ی کل هواشناسی فارس ۲۰۲۲).



شکل ۱- موقعیت پارک ملی بمو در ایران، فارس و شهرستان‌های شیراز و سپیدان.

Figure 1- The location of Bemo National Park in Iran, Fars and the cities of Shiraz and Sepidan.

براساس تحلیل آمار دراز مدت رطوبت و دما، خاک پارک رژیم رطوبتی زریک[5] و حرارتی ترمیک[6] است. زمین‌های آن با تلفیق ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی[7] و خاک به شش جزء واحد زمین قابل تفکیک است. چکیده‌ی ویژگی‌های اجزاء واحدهای زمین پارک عبارت است از (سازمان حفاظت محیط‌زیست ۲۰۰۲):

- اجزاء واحد زمین :M1-1 شامل کوه‌های توده‌سنگی، بیشتر با رخنمون سنگی، در مناطق خاک‌دار خاک کم عمق است که به‌دلیل محدودیت‌های زیاد، قابلیت حفاظتی دارد.

- اجزاء واحد زمین :M2-1 شامل کوه‌های برونزد سنگی، با خاک نیمه عمیق، درشرایط فعلی برای چراگاه نامناسب است و در شرایط آتی تناسب کم برای چراگاه دارد.

- اجزاء واحد زمین :H1-1 شامل تپه‌های توده سنگی، بیشتر با رخنمون سنگی، در مناطق خاک‌دار خاک کم عمق است که به‌دلیل محدودیت‌های زیاد، قابلیت حفاظتی دارد.

- اجزاء واحد زمین :H2-1 شامل تپه‌های برونزد سنگی، با خاک نیمه عمیق، در شرایط فعلی برای چراگاه نامناسب است و در شرایط آتی تناسب کم برای چراگاه دارد.

- اجزاء واحد زمین :CF1-1 شامل واریزه‌های سنگریزه‌دار، با خاک کم عمق و پستی‌بلندی متوسط و سنگریزه سطحی و عمق زیاد که در شرایط فعلی برای چراگاه نامناسب است و در شرایط آتی دارای تناسب خوب برای چراگاه است.

- اجزاء واحد زمین:CF2-1 شامل واریزه‌های سنگریزه‌دار، با خاک نیمه عمیق و پستی‌بلندی کم، و سنگریزه سطحی و عمقی متوسط که در شرایط فعلی تناسب کم برای زراعت آبی و دیم دارد و در شرایط آتی برای زراعت آبی تناسب متوسط دارد.

براساس شرایط پوشش گیاهی (تیپ و انبوهی) و زمین‌ریخت‌شناسی (جهت شیب و بلندی زمین)، به‌ترتیب ۲۰ و ۵ جایگاه در داخل و خارج پارک برای نمونه‌گیری گزینش شد. محل این جایگاه‌ها در داخل پارک از شماره‌ی ۱ تا ۲۰ و در خارج آن، با حروف A تا E، در شکل ۲، نشان‌داده شده است. با توجه به شکل ۲ محل نمونه‌برداری داخل پارک مثلث کوچک توپری است که بالای آن عددهای ۱ تا ۲۰ به‌شکل فارسی نوشته‌شده است و محل نمونه‌برداری شاهد و یا خارج پارک ضربدری است که بالای آن حرف انگلیسی A تا E نوشته‌شده است. همچنین شماره و نشانه‌ی گونه‌ی گیاهی با حروف ۱ تا ۲۸ انگلیسی نشان‌داده شده است. نمونه‌های خاک از ۲۵ نیم‌رخ به ژرفای ۳۰ و درازا و پهنای ۲۰ سانتی‌متر، با روش مرکب برداشت شدند (بردبار ۲۰۰۵). درصد کربن آلی خاک در آزمایشگاه با روش والکلی-بلک (نلسون و سومرز ۱۹۸۶) تعیین شد.

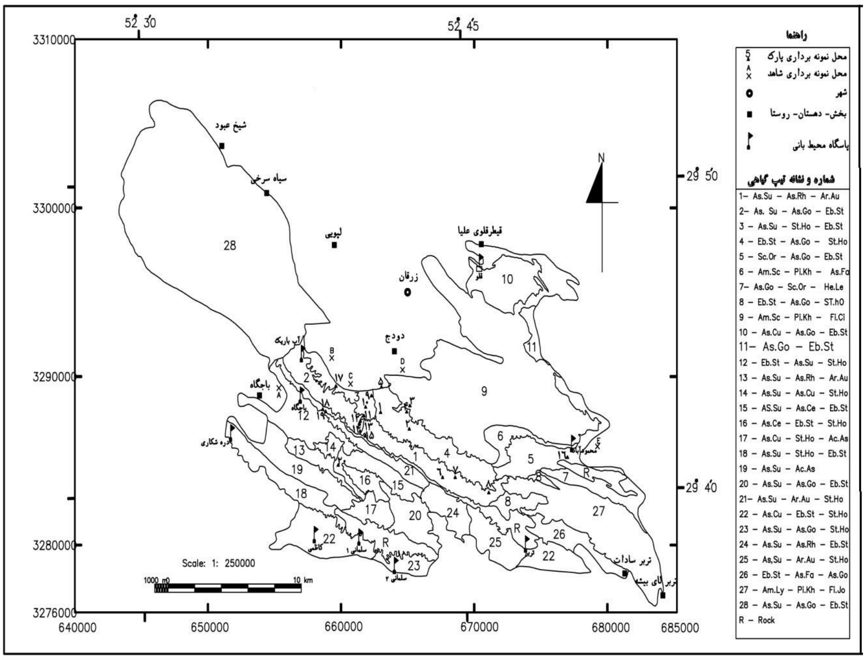
براساس نتایج آزمایشگاهی، بافت خاک خارج پارک، لومی بود و در داخل پارک بافت خاک لومی و شنی– لومی بود. میانگین جرم مخصوص ظاهری با روش استوانه (حلقه) تعیین شد و برای دو نوع خاک لومی و شنی- لومی به‌ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شد (سازمان حفاظت محیط‌زیست ۲۰۰۲). اندازه‌ی کربن آلی ۵ نقطه اندازه‌گیری‌شده در خارج پارک از ۰/۵ تا ۰/۶۵ و ۲۰ مکان در داخل پارک از ۰/۹۵ تا ۱/۱۱، درصد متغیر بود. با توجه به این داده‌ها و با استفاده از رابطه‌ی ۱ اندازه‌ی کربن نگهداشت‌شده‌ی خاک برآورد شد.

$$Cs=100*OC\%*BD*E \quad (1)$$

Cs: اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده‌ی خاک (گرم در متر مربع)، OC٪: درصد کربن آلی خاک، BD: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب) و E: ژرفای نمونه‌گیری خاک (سانتی‌متر) است (نلسون و سومرز ۱۹۸۶).

ارزیابی تفاوت اندازه‌های کربن نگهداری‌شده در هر هکتار خاک داخل و خارج پارک (مقایسه‌ی میانگین‌ها) با آزمون t مستقل و با استفاده از نرم‌افزار SPSS، انجام شد (بی‌همتا و چاهوکی ۲۰۱۱).

5 - Xeric
6 - Thermic
7 - Geomorphology



شکل ۲- موقعیت نقطه‌های نمونه‌گیری خاک در داخل و خارج پارک ملی بمو.
Figure 2- Soil Sampling Sites within and Outside Bemo National Park's Boundaries.

از جمله روش‌های ارزیابی مستقیم بازاری خدمات زیست‌بوم که برای ارزیابی خدمات جنگل‌ها و پارک‌ها استفاده شده است، روش هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده[8] است. براساس این روش، ارزش مالی خدمات زیست‌بوم به‌عنوان هزینه‌های مرتبط با خسارت فرضی است که به‌دلیل وجود خدمات زیست‌بوم (که وجود دارد) اتفاق نمی‌افتد، تعریف می‌شود (بادەیان و همکاران ۱۳۹۷؛ سلیوانون و هالواکوا ۲۰۲۱).

برآورد هزینه‌ی خسارت یکی از راه‌های برآورد تمایل به پرداخت برای بهبود محیط‌زیست است. اگر این تمایل به پرداخت‌ها را بتوان در سطح های مختلف آثار زیست‌محیطی مشخص کرد، مجموعه‌ی این ارزش‌ها منحنی تقاضا برای بهبود محیط‌زیست را شکل می‌دهد. زمانی که منحنی تقاضا با منحنی عرضه برای بهبود محیط‌زیست ترکیب شود، این‌که چه اقدام‌ها و سیاست‌هایی با ارزش‌گذاری مصرف کنندگان مطابقت دارد، مشخص می‌شود (بانک جهانی ۲۰۰۴).

برای ارزیابی هزینه‌ی خسارت لازم است مسیر حرکت آلاینده‌ها از مبدأ تا گیرنده مشخص شود. افزون بر این چگونگی پراکنش در جو، ترکیب با مواد شیمیایی بعدی و واکنش گیرنده شناسایی‌شده و ارزش آن مشخص شود. بنابراین کار پیچیده و بزرگی است. یک مرجع اصلی برای ارزیابی هزینه‌ی خسارت آلاینده‌های هوا به‌وسیله‌ی کمیسیون اتحادیه اروپا تعریف شده است. با فرض این‌که ارزش این آثار به‌طور تقریبی با درآمد جامعه مرتبط است، اندازه‌هایی که برای اتحادیه‌ی اروپا به‌دست آمد با تولید ناخالص داخلی ایران مقیاس‌بندی شد تا برآوردی برای ایران به‌دست آید. بر این اساس هزینه‌ی خسارت گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن برای ایران در سه سطح کم، متوسط و زیاد برآورد شد که در این پژوهش مبنای محاسبه‌ها بود. براساس برآورد سطح پایین ارزش تجارت کربن در صندوق کربن (PCF)[9] هزینه‌ی خسارت معادل هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، سه دلار برآورد شد. براساس برآورد سطح متوسط برای آینده‌ی تجارت کربن اتحادیه‌ی اروپا هزینه‌ی خسارت معادل هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، ۱۰ دلار برآورد شد. براساس برآورد سطح زیاد هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)[10]، هزینه‌ی خسارت معادل هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، ۸۰ دلار برآورد شد (بانک جهانی ۲۰۰۴، فرجزاده ۲۰۱۸). میانگین قیمت دلار در یک سال اخیر تا زمان نگارش مقاله (از آبان ۱۴۰۰ تا مهر ۱۴۰۱) حدود ۲۷۹۲۲۰ ریال بود که در این پژوهش مبنای محاسبه‌ها درنظر گرفته شد (https://www.tgju.org).

براساس نتایج بررسی حسین‌زاد و محدیوسف (۲۰۲۰)

8 - Damage cost avoided method
9 - Prototype Carbon Fund
10 - Intergovernmental Panel on Climate Change

هر تن کربن نگهداری‌شده، معادل ۳/۶۷ تن گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن جذب‌شده بود. در این پژوهش ارزش اقتصادی هر تن کربن نگهداری‌شده براساس هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده از انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌های نگهداشت کربن در داخل و خارج پارک به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. بر پایه‌ی این نتایج، میانگین نگهداشت کربن خاک در داخل (پس از ۵۰ سال قرق) و خارج (بدون قرق) پارک به‌ترتیب ۴۰/۰۵ و ۲۱/۷۵ تن در هکتار برآورد شد. بر این اساس اندازه‌ی میانگین نگهداشت کربن خاک داخل پارک ۱/۸۴ برابر خارج آن بود و از نظر آماری در سطح ۱٪ این تفاوت معنی‌دار بود. تفاوت واریانس اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در داخل و خارج پارک از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

در داخل پارک گونه‌های مختلف گیاهی وجود داشت که در اندازه‌ی نگهداشت کربن نقش متفاوتی داشتند. با توجه به مساحت گونه‌های گیاهی و برآورد میانگین نگهداشت کربن خاک در هر یک از این گونه‌ها، اندازه‌های نگهداشت کربن خاک برای هر هکتار و کل مساحت گونه های مختلف گیاهی محاسبه شد (جدول ۴). نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک گونه‌های گیاهی بررسی‌شده، متفاوت بود. اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک برخی گونه‌ها کمتر (۳۴/۸۸ تن در هکتار) و برخی دیگر بیشتر (۴۱/۶۳ تن در هکتار) بود. اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در ۱۶۶۸۰ هکتار خاک سطحی در داخل پارک که نمونه‌برداری در آن انجام شد، حدود ۶۱۹/۲۹ هزار تن برآورد شد که معادل جذب ۲۲۷۲/۳۸ هزار تن گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن بود. مقایسه‌ی نتایج دیگر پژوهش‌ها بیان‌گر آن است که اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در هر هکتار از خاک مراتع، زیست‌بوم‌های جنگلی و پارک‌های ملی دامنه‌ی گسترده‌ای دارد.

جدول ۱- برآورد نگهداشت کربن خاک، معادل CO_2 جذب‌شده در جو و ارزش اقتصادی آن در داخل پارک.

Table 1- Estimation of Soil Carbon Sequestration, Absorbed CO_2 Equivalent in the Atmosphere, and Economic Value within the Park.

Row	Number of Sampling Locations Indicated on the Map	Soil Texture	Soil Specific Gravity g/m^3	Percentage of Organic Carbon	Carbon g/m^2	Carbon ton/ha	Absorbed CO_2 Equivalent (ton/ ha)	Estimate of Damage Cost Avoided (Million Rials/Ha)		
								Low Level	Medium Level	High Level
1	1, 2, 4	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
2	3	Loamy Sand	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
3	6, 7, 8	Loamy Sand	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
4	9, 10, 11, 17	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
5	12, 13, 14	Sandy Loam	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
6	16	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
7	18, 19	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
8	20	Loamy Sand	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
Mean	-	-	1.30	1.03	4005	40.05	146.98	123.12	410.41	3286.26

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

جدول ۲- برآورد نگهداشت کربن خاک، معادل CO_2 جذب‌شده در جو و ارزش اقتصادی آن درخارج پارک.

Table 2- Estimation of Soil Carbon Sequestration, Absorbed CO_2 Equivalent in the Atmosphere, and Economic Value Outside the Park.

Row	Signs of Sampling Locations Indicated on the Map	Soil Texture	Soil Specific Gravity g/m^3	Percentage of Organic Carbon	Carbon g/m^2	Carbon ton/ha	Absorbed CO_2 Equivalent (ton/ ha)	Estimate of Damage Cost Avoided (Million Rials/Ha)		
								Low Level	Medium Level	High Level
1	A	Loam	1.25	0.55	2062.5	20.63	75.69	63.41	217.35	1690.82
2	B	Loam	1.35	0.6	2250	22.50	82.58	69.17	230.57	1844.53
3	C	Loam	1.35	0.6	2250	22.50	82.58	69.17	230.57	1844.53
4	D	Loam	1.25	0.5	1875	18.75	68.81	57.64	192.14	1537.11
5	E	Loam	1.25	0.65	2437.5	24.38	89.46	74.93	249.78	1998.24
Mean	-	-	1.25	0.58	2175	21.75	79.82	66.86	222.88	1783.04

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

جدول ۳- نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین اندازه‌های نگهداشت کربن و هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در داخل و خارج پارک.

Table 3- Results of the Comparison Test for Average Carbon Sequestration Values and Damage Cost Avoided whitin and Outside the Park.

Variabels	Lyon's Test for Assessing Equality of Variances		T Test for Assessing Equality of Variances	
	F	Significance Level	T	Significance Level
Carbon Sequestration (ton/ha)	0.041	0.84	17.24	0.000
Damage Cost Avoided at a Low Level (million Rials)	0.041	0.84	17.25	0.000
Damage Cost Avoided at a Medium Level (million Rials)	0.041	0.84	17.24	0.000
Damage Cost Avoided at a Low High Level (million Rials)	0.041	0.84	17.24	0.000

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

جدول ۴- برآورد نگهداشت کربن خاک و هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده آن برای گونه‌های گیاهی داخل پارک در سطح‌های کم، متوسط و زیاد.

Table (4)- Estimation of Soil Carbon Sequestration and Damage Cost Avoided for Plant Types whithin the Park at Low, Medium and High Levels.

Row	Plant Type			Carbon Sequestration		Absorbed CO_2 Equivalent (thousands ton)	Estimate of Damage Cost Avoided (Milliard Rials)		
	Number on the Map	Name*	Area (ha)	Ton/ha	Thousands Ton		Low Level	Medium Level	High Level
1	1	As.Su - As.Rh - Ar.Au	566.92	34.88	19.78	5772.56	223.06	743.54	594.84
2	2	As. Su - As.Go - Eb.St	883.86	34.88	30.83	113.13	347.78	1159.26	927.41
3	3	As.Su - St.Ho - Eb.St	1246.79	41.63	51.9	190.47	585.53	1951.77	15614.18
4	4	Eb.St - As.Go - St.Ho	1566.33	41.63	65.2	239.28	735.59	2451.96	19615.66
5	5	Sc.Or - As.Go - Eb.St	1380.81	41.63	57.48	210.94	648.46	2161.55	17292.4
6	9	Am.Sc - Pi.Kh - Fi.Ca	8906.31	34.88	310.61	1139.93	350.43	11681.3	93450.42
7	12	Eb.St - As.Su - St.Ho	1354.74	41.63	56.39	206.96	636.22	2120.75	16965.99
۸	15	AS.Su - As.Ce - Eb.St	774.46	34.88	27.1	99124.13	304.73	1015.76	8126.1
Total	–	–	16680.22	–	619.29	2272.38	6985.77	23285.9	186287.15

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

*-Full Names of Each Type of Plant in Numerical Order:

1. *Astragalus susianus-Astragalus rhodosemius-Artemisia aucheri.* 2. *Astragalus susianus-Astraglus gossypinus-Ebenus stellata.* 3. *Astragalus susianus-Stipa hohenackeriana-Ebenus stellata.* 4. *Ebenus stellata-Astraglus gossypinus-Stipa hohenackeriana.* 5. *Ebenus stellata-Astragalus susianus-Stipa hohenackeriana.* 9. *Amygdalus scoparia-Pistacia khinjuk-Ficus carica.* 12. *Ebenus stellata-Astragalus susianus-Stipa hohenackeriana* 15. *Astragalus susianus-Astragalus cephalanthus-Ebenus stellata.*

نتایج این بررسی مبنی بر وجود تفاوت معنی‌دار در اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک داخل پارک و بیرون پارک با نتایج پژوهش نیک‌نهاد و همکاران (۲۰۱۸)، که گزارش کردند اندازه‌ی نگهداشت کربن در مراتع قرق‌شده با مراتع قرق‌نشده تفاوت معنی‌دار داشت، همخوانی دارد. اما با نتایج پژوهش عسگری و همکاران (۲۰۲۱) که گزارش کردند قرق کوتاه مدت مراتع (۱۵ ساله) اثر اندکی بر نگهداشت کربن داشت، متفاوت است. افزون بر این اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در هر هکتار خاک داخل و خارج پارک به‌طور قابل توجهی بیشتر از اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک در مراتع بود. این یافته با نتایج بررسی دی‌جانگ و همکاران (۲۰۰۰)، دنگ و همکاران (۲۰۱۱)، زیفک و همکاران (۲۰۱۶)، حسین‌زاد و محدیوسف (۲۰۲۰)، زرافشار و همکاران (۲۰۲۱) و سلیمانی‌پور و همکاران (۲۰۲۲) که گزارش کردند پارک‌های ملی و زیست‌بوم های جنگلی از مخزن‌های اصلی نگهداشت کربن است، مطابقت دارد. اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک در این پژوهش‌ها از ۰/۷۴ تن در هکتار تا ۳۷۴/۲ تن در هکتار متغیر بود. با توجه به نتایج مزبور اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک به عامل‌هایی مانند نوع و تراکم پوشش گیاهی، وجود بقایای گیاهی، درصد تاج پوشش گیاهی، فراهم بودن شرایط مناسب برای افزایش فون جانوری و تجزیه‌کنندگان در خاک، کندی فرسایش خاک به‌دلیل افزایش درصد پوشش و کاهش روان آب و روش مدیریتی و فراهم آوردن انگیزه‌های مالی بهره‌برداران در مراتع، زیست‌بوم‌ها و پارک‌های جنگلی نسبت داده شده است. در این پژوهش براساس نتایج کمی اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک داخل و خارج پارک، تأثیر زیست‌بوم جنگلی پارک ملی بمو بر اندازه‌ی نگهداشت کربن در خاک تأیید شد (جدول ۳). اندازه‌های میانگین هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده مربوط به جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن، به ازای هر هکتار خاک داخل پارک در سطح-های کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۱۲۳/۱۲، ۴۱۰/۴۱ و ۳۲۸۳/۲۶ میلیون ریال برآورد شد (جدول ۱). اندازه‌های متناظر در خارج از پارک به ترتیب ۶۶/۸۶، ۲۲۲/۸۸ و ۱۷۸۳/۰۴ میلیون ریال برآورد شد (جدول ۲). بر این اساس در سطح‌های با

وضعیت مشابه ارزش ریالی خسارت اجتناب‌شده در داخل پارک ۱/۸۴ برابر خارج از پارک بود. براساس آماره‌ی محاسبه‌شده‌ی t (۱۷/۲۴) از نظر آماری این تفاوت‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. براساس نتایج آزمون لیون و برابر بودن واریانس‌ها مشخص شد که با توجه به آماره‌ی محاسبه‌شده‌ی F (۰/۰۴۱) واریانس اندازه-های هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در سطح‌های با وضعیت مشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

در پژوهش‌های مختلف ارزش اقتصادی خدمت زیست‌محیطی نگهداشت کربن با توجه به اندازه‌ی هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده برای هر تن کربن نگهداری‌شده یا گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن جذب شده، اندازه‌ی کل نگهداشت کربن یا جذب دی‌اکسید کربن، زمان و قیمت ارز متفاوت ارزیابی شده است (دنگ و همکاران ۲۰۱۱، پاری و همکاران ۲۰۱۴، نصری و همکاران ۲۰۱۶، نیک‌نهاد و همکاران ۲۰۱۸، زیفک و همکاران ۲۰۱۶، حسین‌زاد و محدیوسف ۲۰۲۰، سلیمانی‌پور و همکاران ۲۰۲۱، پاچ و همکاران ۲۰۲۱ و زرافشار و همکاران ۲۰۲۲). در این پژوهش‌ها هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده از ۳ دلار به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن جذب‌شده تا ۲۰۰ دلار متفاوت بوده است. در این پژوهش براساس نتایج ارزیابی در سه سطح کم، متوسط و زیاد اندازه‌ی هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در ۱۶۶۸۰ هکتار از خاک پارک ملی بمو که نمونه‌گیری در آن انجام شد، به‌ترتیب ۹۳۹/۴۲، ۳۲۱۸ و ۲۵۰۲۳/۶۷ میلیارد ریال برآورد شد. در حالی که این نتایج برای ۴۶۹۱۳ هکتار کل مساحت پارک درنظر گرفته شود اندازه‌های متناظر در سه سطح بررسی‌شده به‌ترتیب ۲۶۴۲/۱۴، ۸۷۹۷/۵۹ و ۷۰۳۷۹/۸۲ میلیارد ریال خواهد بود. بر این اساس ارزش خدمت زیست‌محیطی جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن (به‌عنوان یکی از عامل‌های اصلی تغییر اقلیم) مربوط به پارک ملی بمو حتی در سطح کم بیش از ۲۶۰۰ میلیارد ریال برآورد شد که بیان‌گر اهمیت زیاد ارزش اقتصادی پارک است.

نتیجه‌گیری

فزونی انتشار گازهای آلاینده، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، در نتیجه‌ی فعالیت‌های انسان در شهرهای بزرگ چون شیراز، از نگرانی‌های اصلی برنامه‌ریزان شهری و شهروندان است. براساس نتایج این پژوهش، پارک ملی بمو در شمال شیراز به‌سبب شرایط مناسب پوشش گیاهی و خاک، قابلیت زیادی برای نگهداشت کربن و جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن دارد. میانگین کربن نگهداری‌شده و معادل دی‌اکسیدکربن جذب‌شده در هر هکتار از زمین‌های داخل پارک به‌ترتیب ۴۰/۰۵ و ۱۴۶/۹۸ تن بود. اندازه‌های متناظر در خارج از پارک به‌ترتیب ۲۱/۷۵ و ۷۹/۸۲ تن بود. بر این اساس اندازه‌های میانگین کربن نگهداری‌شده و معادل دی‌اکسیدکربن جذب‌شده در هر هکتار از زمین‌های داخل پارک ۱/۸۴ برابر زمین‌های خارج از پارک بود. میانگین هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده دی‌اکسیدکربن جذب‌شده در هر هکتار زمین داخل و خارج پارک در سطح متوسط به‌ترتیب ۴۱۰/۴۱ و ۲۲۲/۸۸ میلیون ریال برآورد شد، که بیان‌گر اهمیت نقش اقتصادی آن است. با لحاظ کردن هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در سطح زیاد و منطبق بر ارزیابی IPCC، اندازه‌های میانگین هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در هر هکتار زمین داخل و خارج پارک به‌ترتیب ۳۲۸۳/۲۶ و ۱۷۸۳/۰۴ میلیون ریال برآورد شد. بر این اساس ارزش اقتصادی هر هکتار زمین پارک، به‌سبب جلوگیری از خسارت انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن، در سطح‌های متوسط و زیاد به‌ترتیب ۱۸۷/۵۳ و ۱۵۰۰/۲۲ میلیون ریال برآورد شد. با درنظر گرفتن پهنه‌ی زمین‌های پارک (۴۶۹۱۳ هکتار)، ارزش اقتصادی آن به‌سبب جلوگیری از خسارت گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن، در سطح متوسط و زیاد به‌ترتیب ۸۷۹۷/۶ و ۷۰۳۷۹/۸۲ میلیارد ریال برآورد شد. بنابراین، لازم است برنامه‌ریزان و مدیران با حساسیت بیشتری ارزش اقتصادی جلوگیری از خسارت پارک‌ها را در محاسبه‌های مالی لحاظ کنند و همه یا بخشی از آن را برای حفاظت و گسترش پارک‌های طبیعی تخصیص دهند.

نکته مهم درباره‌ی ارزش خدمات زیست‌محیطی پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی در جامعه، امکان خرید و فروش کربن نگهداری‌شده و یا گازهای گلخانه‌ای آلاینده به‌ویژه دی‌اکسیدکربن منتشر شده در جو است. دست‌یابی به قیمت متعادل برای خرید کربن نگهداری‌شده و یا هزینه‌ی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن اهمیت زیادی دارد. این موضوع می‌تواند به افزایش اندازه‌ی نگهداشت کربن و یا کاهش انتشار گازهای آلاینده و در نتیجه مدیریت حفاظت و توسعه‌ی پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی، کمک زیادی کند. برای این منظور لازم است به چارچوب‌های قانونی و زیرساخت‌های لازم برای ایجاد بازار کاربردی نگهداشت کربن و انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک موضوع اساسی در سطح‌های ملی و منطقه‌ای توجه شود. در چنین شرایطی می‌توان انتظار داشت مالکان صنایع و کارخانجات برای کاهش اندازه‌ی انتشار گازهای آلاینده و پرداخت هزینه‌ی خسارت کمتر تلاش کنند. از طرف دیگر فعالین در زمینه‌ی حفاظت و توسعه‌ی پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی می‌توانند بخشی از هزینه‌های خود را از راه دریافت بهای خدمت زیست‌محیطی نگهداشت کربن

و یـــا جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکســـیدکربن تأمین کنند. ضمـــن این‌که برای افزایش انگیزه‌ی حفاظت و نگهداری این زیســـت‌بوم‌ها با توجـــه به ارزش‌های غیرمســـتقیم حمایت‌های دولتی ضرورت دارد.

افزون بر این، اســـتان فـــارس قابلیت‌های طبیعی زیادی دارد و براساس معیارهای پیمان بین‌المللی ۲۰۱۵ تغییر اقلیم پاریس و گردهمایی ۲۰۲۲ تغییر اقلیم شرم‌الشیخ، بـــه ایجاد زیســـت‌بوم‌های جنگلی به‌عنـــوان مخزن‌های گازهای گلخانه‌ای و همچنین تجارت گازهای گلخانه‌ای توجه شـــده است. بر این اســـاس امکان گفتگو و داشتن موافقت‌نامه با کشورهای شرکت‌کننده در پیمان زمینه‌ی ایجاد، گسترش و حفاظت از پهنه‌های طبیعی با استفاده از سرمایه خارجی وجود دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود از راه‌کارهـــای قانونی برای جذب اعتبار از ســـازمان‌های بین‌المللی (ســـازمان تسهیلات جهانی محیط‌زیست[11] و سازمان ملل متحد) استفاده شود و برای کمک به ایجاد و گسترش پارک‌های ملی، زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی و یـــا حتی ترمیم مراتع و جنگل‌هـــای در حال نابودی و نابودشده استان از آن بهره‌برداری کنند.

سپاسگزاری

ایـــن پژوهش با پشـــتیبانی مالی و معنـــوی اداره‌ی کل حفاظت محیط‌زیست فارس و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی فارس، انجام شد. اکبر فروزانی و محمدرحیم شـــادکام به‌ترتیب در نمونه‌برداری خاک و تجزیه‌ی آزمایشگاهی آن و مریم زارع در تهیه‌ی نقشه‌ها، همکاری داشـــته‌اند. از پشـــتیبانی و تلاش همه‌ی آن‌ها سپاسگزاریم.

11 - Global Environmental Facility (GEF)

فهرست منابع

Asgari HR, Savarolya M, Yeganeh H, Honardoust F, Mombeni M. 2021. Effects of grazing exclusure on some soil properties, and carbon sequestration estimating the economic value of (Case study: Arid Rangelands North of Gonbadkavous). Degradation and Rehabilitation of Natural Land. 2(3):1–11. http://dorl.net/dor/20.1001.1.27174425.1400.2.3.2.2. (In Persian).

Badehian Z, Mansouri M, Fakhari MA .2018. Determining the economic value of carbon sequestration in the soil in the planted afforested different species. Environmental Researches. 17(9):111-120. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089597.1397.9.17.15.2. (In Persian).

Bihamta MR, Zare Chahouki MA. 2011. Principles of statistics for the natural resources science. Tehran University Press. ISBN 978-964-03-5812-2. pp. 121-216. (In Persian).

Bordbar SK. 2005. Study the potential of carbon storage in the Eucalyptus and Acacia planted forestry's of Fars Province. Ph.D. Thesis, Sciences and Research's Unit, Islamic Azad University. 154 p. (In Persian).

Brown S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges, Environmental Pollution. 116(3):363-372. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3.

De Jong BHJ, Tipper R, Montoya–Gomez G. 2000. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico, Ecological Economics. 33(2):313 – 327. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00162-7.

Deng S, Shi, Y, Jin, Y, Wang L. 2011. A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study. Energy Procedia. 5:1535-1545. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.263.

Dixon RK, Schroeder PE, Winjum JK. 1991. Assessment of promising forest management practices and technologies for enhancing the coservation and sequestration of atmosferic carbon and their costs at the site level. EPA/600/3-91/067, US-EPA, Washington D.C. pp. 1-153.

Dixon RK, Sathaye JA, Meyers SP, Masera OR, Makarov AA, Toure S, Makundi W, Wiel S. 1996. Greenhouse gas mitigation strategies: Preliminary results from the US country studies program. Ambio. 25:26-32.

Environmental Protection Organization of Iran. 2002. Bamou national park management plan, identification of lands resources. 65 p. (In Persian).

Environmental Protection Organization of Iran. 2002. Bamou national park management plan, air and climate. 110 p. (In Persian).

Farajzadeh Z. 2018. Emission tax in Iran: Incorporating pollution disutility in a welfare analysis, Journal of Cleaner Production. 186:618-631. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.093.

Fars meteorological bureau. 2022. https://www.farsmet.ir. (In Persian).

Frouzeh M. 2006. Study of soil carbon sequestration and stand biomass of dominant shrub species in the flood spreading area of Gerbaygan Fasa, M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 76 p. (In Persian).

Https://www.tgju.org/profile/price_dollar_rl/charts.

Hussainzad EA, MohdYusof MJ. 2020. Assessing the economic value of carbon sequestration in Taman Negra Pahang, Iop Conference Series Earth and Environmental Science. https://WWW.researchgate.net/Publication/343451491. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/540/1/012058.

Mahmoudi M, Ramezani Kakroudi E, Shafiei AB, Salehi A, Pato M, Hoseinzadeh O. 2022.

Estimation of Carbon Storage in Biomass and Litter in Plantations of Lavizan Forest Park in Tehran. Ecology of Iranian Forests. 10(20):204–214. (In Persian).

Mesbah H. 2013. Comparison on carbon sequestration of soil and dominant plant species in inside and outside of Bamoo national park, Final report of research project, S/N:44148, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 47 p. (In Persian).

Masera OR, Bellon MR, Segura G.1995. Forest management options for sequestering carbon in Mexico. Biomass and Bioenergy. 8 (15):357-367. https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00028-3.

Nasri M, Ghorbani M, Azarnivand H, Rafiee H. 2016. Economic valuation of stocked carbon function in arid and semi-arid rangelands (Case study: Malard district). Iranian Journal of Range and Desert Research. 23(2):396–403. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2016.107040.

Nelson DW, Sommers LD. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter, In: Page, A.L. (ED.), Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd Edition, Agronomy Series No. 9, ASA SSSA, Madison. https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.frontmatter.

Niknahad Gharemakher H, Aghtabye A, Akbarlou M. 2018. Effects of grazing exclusure on some soil properties, erodibility and carbon sequestration (Case study: Bozdaghin rangelands, North Khorasan, Iran). Iranian Journal of Range and Desert Research. 24(4):708–718. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.114058. (In Persian).

Pache RG, Abrudan IV, Nita MD. 2021. Economic evaluation of carbon storage and sequestration in Retezat national park, Romania. Forests. 12(43):1–14. https://doi.org/10.3390/f12010043.

Parry I, Veung C, Heine D. 2014. How much carbon pricing is in countries' own interests? The critical role of co-benefits. International Monetary Fund. pp. 1-36. https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2014/wp14174.pdf.

Rajabi V .2011. Estimation of carbon sequestration in two mountain Almond and Mo plants and study the possibility of recalibration of carbon sequestration simulations; Case study Hossein Abad Station. M.Sc. Thesis, college of agriculture, Shiraz University. 119 p. (In Persian).

Sathaye J, Ravindranah NH. 1997. Policies, measures and the monitoring needs of forest sector carbon mitigation, Mitigation Adaptation Strategies Global Change. 2(2–3):101–115. DOI: 10.1007/BF02437198.

Sayyadiyan K, Beheshti AA .2007. Carbon Sequestration Systems. Razi University Publications. pp. 1-176. (In Persian).

Selivanon E, Hlavackova P. 2021. Methods for monetary valuation of ecosystem services: A scoping review, Journal of Forest Science. 67(11):499-511. DOI: 10.17221/96/2021-JFS.

Soleimanipour SS, Adeli K, Mofi-Gholami D, Naghavi H. 2022. Economic evaluation of carbon sequestration in Zagros Oak forests (Case study: The Pahnus forest habitat, Chaharmahal Bakhtiari Province). Journal of Plant Ecosystem Conservation. 10(20):185–206. (In Persian).

United Nations Development Program (UNDP). 2000. Carbon sequestration in the decertified rangelands of Hossain Abad, Through community based management program coordination.7 p.

United Nations Framework on Climate Change (UNFCC) .2016. The Paris agreement. Design and print: Phoenix Design Aid Denmark, pp. 1-60. https://treaties.un.org/Pages/PageNotFound.aspx.

United Nations Framework on Climate Change

(UNFCC). 2022. Decisions taken at the Sharm El-Sheikh Climate Change Conference. pp. 1-49. https://unfccc.int/documents/626561.

World Bank. 2004. Islamic Republic of Iran energy- environment Review Policy Note. Report No. 29062 – IR. Washington D.C. 33 p.

Zapfack L, Noumi VN, Tabue Mabda RB. 2016. Economic estimation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of protected areas: A case study of Lebeke national park. Journal of Tropical Forest Science. 28(4):406–415.

Zarafshar M, Rousta MJ, Matinizadeh M, Bordbar SK, Enayati K, Kooch Y, Nehghahdarsaber M, Abbasi A. 2021. Comparison of carbon and nitrogen sequestration in soils under plantations, natural forest and agricultural farm land uses in arjan plain in the Fars province. Ecology of Iranian Forests. 8(16):165–172. (In Persian).

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Economic Analysis of Soil Carbon Sequestration Capability in the National Bamou Park, Fars Province

Roham Rahmani*[1], Seyed Hamid Mesbah[2]

1- Assistant Professor of Economic, Social and Extension Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

2- Research instructor of soil protection and watershed research department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction

Carbon dioxide gas, produced from fossil fuels in industrial centres and near big cities, has a significant effect on climate change and global warming. Sequestration of carbon in plants and soil of protected areas, especially national natural parks, is the simplest and most economical way to reduce atmospheric carbon dioxide. The National Bamou Park, with an area of 46,913 hectares near the industrial centres of Shiraz, Zarghan, Maroodasht and Abbarik, provided a good chance for carbon sequestration. In this research economic analysis of this park's soil carbon sequestration capability in 2022 was done.

Materials and Methods

Based on vegetation cover and geomorphological conditions, 20 and 5 locations inside and outside the park were selected for sampling. Composite soil samples were taken from the 25 profiles with a depth of 30 cm length and width of 20 cm. The Wallcly-Black method was used to determine the percentage of soil organic carbon in the laboratory. The economic evaluation of the sequestered carbon was done using the damage cost avoided method at three levels: low estimate based on the values of trade in the Prototype Carbon Fund, medium estimate based on anticipated values in the future European Union

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** r.rahmani@areeo.ac.ir - roham.rahmani@gmail.com

Citation: Rahmani, R., Mesbah, S.H. 2024. Economic analysis of soil carbon sequestration capability in the national Bamou park, Fars province. Watershed Management Research. 36 (4): 98-113.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360369.1496

Received: 30 October 2022, **Received in revised form:** 08 February 2023, **Accepted:** 21 June 2023, **Published online:** 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 98-113.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

carbon trading scheme and high estimate based on the damage cost assessment made by Intergovernmental Panel on Climate Change.

Results

Based on the results, the average measures of carbon sequestered in the soil of the lands inside and outside the park were 40.05 and 21.75 tons per hectare, respectively. Based on the t-test, the average carbon sequestered inside and outside the park significantly differs at 1%. The average economic value of avoided damage related to carbon sequestration per hectare of land inside the park at low, medium and high levels are 123.12, 410.41 and 3283.26 million rials, respectively. The corresponding amounts outside the park are 66.86, 222.88 and 1783.04 million rials. The average economic value of sequestered carbon in the soil of each hectare of land inside and outside the park, based on the t-test, has a significant difference at the level of 1%.

Conclusions and Recommendations

The suitable conditions of vegetation and soil of Bamou National Park have caused this park to have a high economic value because of the environmental services of carbon sequestration in the soil and absorption of carbon dioxide gas. Thus, it is possible the economic value of such services is considered in financial calculations, and all or part of it is allocated for the protection and expansion of these parks. An important point about the economic value of the parks and forest ecosystems services is the possibility of buying and selling carbon sequestered or carbon dioxide gas emitted into the atmosphere. For this purpose, it is suggested to pay attention to the legal frameworks and necessary infrastructures for creating an applied market of carbon sequestration and carbon dioxide emission at the national and regional levels. In addition, concerning the natural resources of Fars province and the criteria of international climate change agreements, it is possible to use foreign capital to help create and expand national parks and forest ecosystems as greenhouse gas reservoirs. Therefore, it is suggested to use these legal agreements to attract credit from international organizations.

Keywords: Carbon sequestration, damage cost avoided method, Fars, national Bamou park, soil

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

مدل‌سازی توان منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی

احمد سلامت[۱]، مجتبی اردستانی[۲*]، بهرام ملک‌محمدی[۳]

۱ – دانشجوی دکتری مهندسی محیطزیست گرایش منابع آب، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران
۲ – استاد، دانشکده‌ی محیطزیست، دانشگاه تهران
۳ – دانشیار، دانشکده‌ی محیطزیست، دانشگاه تهران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

توان‌یابی منابع آب زیرزمینی یکی از اصل‌های پایه در مدیریت منابع آب است. هدف این پژوهش توان‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از مدل-های یادگیری ماشین بردار پشتیبان (SVM) و همچنین دستورالعمل‌های فراکاوشی (مدل ترکیبی (هیبریدی) ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی زنبورعسل (SVM-BA) و مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات (SVM-PSO) است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش در منطقه‌ی بجنورد عامل‌های بلندی، شیب، جهت، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، شاخص موقعیت پستی‌بلندی، شاخص ناهمواری زمین، موقعیت شیب نسبی و شاخص همگرایی جریان انتخاب شدند. از شرکت آب منطقه‌ای اطلاعات موقعیت ۳۵۹ چشمه دریافت شد. دستورالعمل تقسیم‌بندی تصادفی برای تقسیم نقطه‌های آموزشی (۷۰٪) و نقطه‌های اعتبارسنجی (۳۰٪) استفاده شد. براساس تحلیل حساسیت حذفی، اندازه‌ی اهمیت و مشارکت متغیرهای ورودی در توان‌یابی آب زیرزمینی مشخص شد. ارزیابی دقت مدل‌ها در دو مرحله‌ی آموزش و اعتبارسنجی براساس روش منحنی مشخصه عامل گیرنده (ROC) انجام شد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** Ardestan@ut.ac.it

استناد: سلامت، ا.، اردستانی، م.، ملک‌محمدی، ب. ۱۴۰۲. مدل‌سازی پتانسیل منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۴): ۱۳۲-۱۱۴.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360675.1506

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۱/۰۱، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های۱۱۴ تا ۱۳۲.

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

نتایج
ارزیابی دقت مدل‌ها براساس معیار ارزیابی مساحت زیرمنحنی عامل گیرنده (AUC) نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات (SVM-PSO) ۰/۹۴۵ بیشتر از دیگر مدل‌ها (SVM: 0.918 و SVM-BA: 0.932) بود. براساس نتایج مدل برتر در این پژوهش ۷/۷۵٪ از سطح منطقه طبقه‌ی توان زیاد و ۳۸/۶۶٪ از سطح منطقه طبقه‌ی توان خیلی زیاد را کسب کردند. از میان عامل‌های، موقعیت شیب نسبی (۱۴/۵٪)، فاصله از گسل (۱۳/۴٪) و سنگ‌شناسی (۱۲/۳٪) در پیش‌بینی توان آب زیرزمینی بیشترین اهمیت را داشتند.

بحث و نتیجه‌گیری
براساس نتایج این پژوهش، عملکرد مدل ماشین بردار پشتیبان زیاد بود و دو دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی زنبورعسل و فراکاوشی ازدحام ذرات موجب تقویت قدرت پیش‌بینی مدل شدند. همچنین مدل‌های یادگیری ماشینی می‌توانند ارتباط میان عامل‌های محیطی و آب‌دهی چشمه‌ها را شناسایی کنند و با به‌کارگیری داده‌های موجود، نقش آن‌ها را تعیین کنند. عامل موقعیت شیب نسبی به‌عنوان مهم‌ترین متغیر و عامل فاصله از گسل نیز به‌عنوان دومین متغیر مهم در این پژوهش مشخص شدند. نتایج پژوهش نشان داد که در تغذیه‌ی بخش‌های زیرسطحی، ذخیره و جریان آب زیرزمینی، گسل‌های منطقه نقش مهمی داشتند. با کاربرد مدل در شناسایی وضعیت توان آب زیرزمینی عامل سنگ‌شناسی نیز به‌عنوان سومین متغیر مهم معرفی شد. در این پژوهش، با پیشنهاد نقشه‌ی توان آب زیرزمینی، امکان برنامه‌ریزی و تدقیق آمایش سرزمین برای آبخیز بجنورد فراهم شد.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، بجنورد، ماشین بردار پشتیبان، یادگیری ماشینی

مقدمه

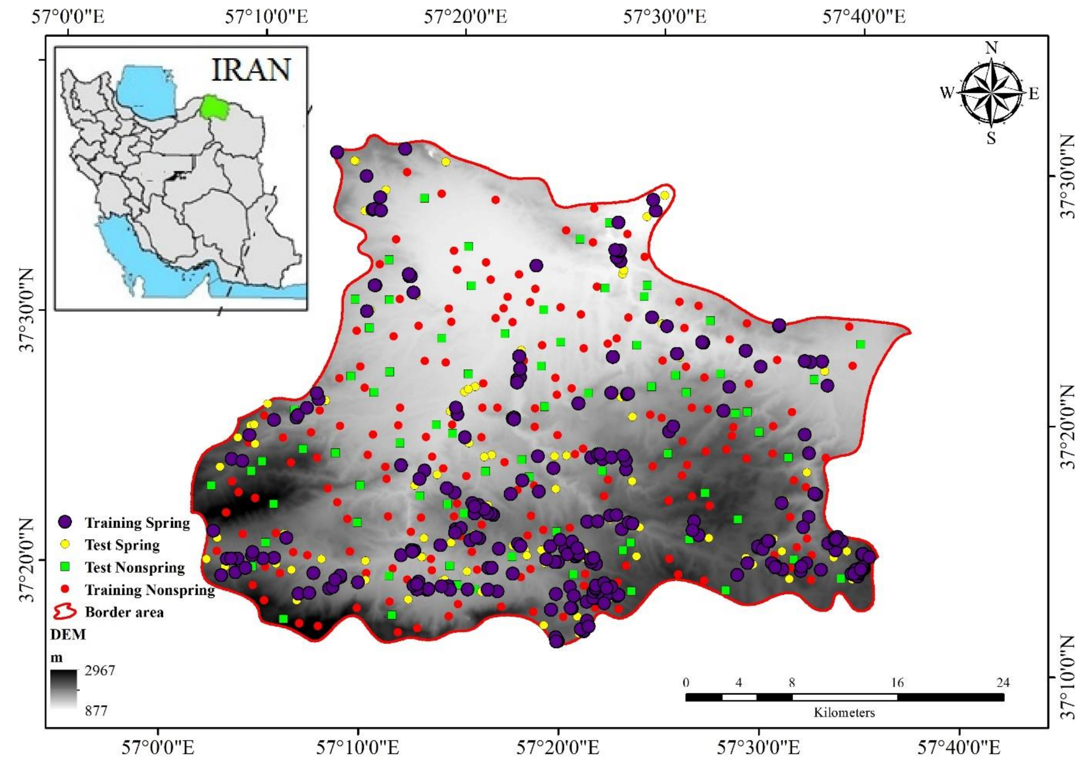
شناخت اصولی منابع آب زیرزمینی یک اصل کلیدی مدیریت منابع آب به‌شمار می‌آید. با توجه به افزایش نیاز کشور ایران به آب و همچنین به‌دلیل توان زیاد آلودگی منابع آب‌های سطحی زمین، توزیع نامتعادل مکانی و زمانی این منابع، پرداختن به موضوع‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای آب و غذا موجب افزایش تنش در کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی و کاهش منابع با ارزش آب زیرزمینی شده است (تایت و همکاران ۲۰۰۸). بنابراین جلوگیری از افزایش این مشکلات با مدیریت و بهره‌برداری متناسب با توان آب زیرزمینی یکی از رویکردهای مهم در این زمینه است. در سال‌های اخیر به‌دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب به‌ویژه چاه‌ها به‌دلیل‌های گوناگون مانند توسعه‌ی صنعتی، رشد بی‌رویه جمعیت، کاهش بارش‌های جوی، خشک‌سالی‌ها و غیره، مسئله‌ی کم آبی حادتر شده است. در نتیجه ضرورت پژوهش‌های دقیق و راهبردی ممنوعیت بهره‌برداری برای جلوگیری از ایجاد تنش در آبخوان‌های آبرفتی اجتناب‌ناپذیر است. شناخت منطقه‌های مستعد استخراج آب زیرزمینی هم می‌تواند زمینه فراهم شدن آب بیشتر و با کیفیت بهتر را ایجاد کند و هم اینکه هزینه‌ی حفاری و بهره‌برداری آب زیرزمینی را کاهش دهد (دی‌سانتا و همکاران ۲۰۰۷؛ شنگا و همکاران ۲۰۱۸). روش های مختلفی برای تعیین توان آب زیرزمینی وجود دارد که از جمله آن‌ها روش ژئوالکتریک، استفاده از موج‌های صوتی، حفر چاه گمانه را می‌توان نام برد. از طرفی این روش‌ها با داشتن دقت زیاد، نیاز به مهارت، تخصص و صرف هزینه و زمان زیاد دارند. امروزه ادغام سنجش‌ازدور و فن‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به کشف منطقه‌های توان آب زیرزمینی و غلبه بر برخی از مانع‌های مزبور کمک کند. فنّاوری سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در کم‌ترین زمان ممکن و هزینه اندک، در منطقه‌های بزرگ و غیرقابل دسترس، به ابزاری بسیار مفید برای دسترسی، نظارت و حفظ منابع آب زیرزمینی تبدیل شده است (گینتومو و همکاران ۲۰۱۵؛ جاوهر و همکاران ۲۰۱۸) همچنین این امکان را فراهم می‌سازند که با کم‌ترین تلاش ممکن بتوان ناحیه‌هایی که احتمال وجود چشمه را دارند شناسایی کرده و در مواقع خشک‌سالی از آن بهره‌برداری کرد (کورسینی و همکاران ۲۰۰۹). نتایج پژوهش داوودی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۳)، بر تأثیر

اندازه‌ی نمونه (۱۰۰٪، ۷۵٪، ۵۰٪و ۲۵٪ داده‌ها) در مدل‌سازی توان آب زیرزمینی در آبخوان‌های سازند سخت کوهستانی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین شامل سامانه‌ی استنتاجی عصبی- فازی سازگاریافته (ANFIS)، سامانه‌ی استنتاجی عصبی فازی سازگاریافته - دستورالعمل رقابتی امپریالیستی (ANFIS-ICA)، درخت تصمیم‌گیری تناوبی (ADT) و جنگل تصادفی (RF) نشان داد که اندازه‌ی نمونه بر عملکرد چهار دستورالعمل یادگیری ماشین مؤثر بود و مدل جنگل تصادفی نسبت به کاهش اندازه‌ی نمونه‌ها حساسیت کمتری داشت. افزون بر این نتایج اعتبارسنجی ثابت کرد که مدل جنگل تصادفی (AUCROC=96.32%) در بین چهار مجموعه داده بهترین عملکرد را داشت. همچنین موقعیت شیب نسبی، سنگ شناسی و فاصله از گسل به‌عنوان اصلی‌ترین عامل‌های مؤثر در توزیع چشمه‌ها در مدل‌سازی توان آب زیرزمینی انتخاب شدند. نتایج پژوهش موسوی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که توان آب زیرزمینی مدل‌های Bagging (یعنی RF و Bagged CART) عملکرد بیشتری در مقایسه با مدل‌های Boosting داشتند. به‌طورکلی، مدل RF عملکرد بهتری در مقایسه با مدل‌های دیگر داشت (با دقت= ۰/۸۶، کاپا=۰/۶۷، صحت=۰/۸۵). همچنین، متغیرهای شاخص موقعیت پستی‌بلندی، ژرفای دره، تراکم زهکشی، بلندی و فاصله از جریان در روند مدل‌سازی بیشترین سهم را داشتند. فام و همکاران (۲۰۱۹) در منطقه‌ی گوجارات هند برای توان‌یابی منابع آب زیرزمینی از مدل‌های ترکیبی مختلف هوش مصنوعی استفاده کردند. در پژوهش آن‌ها عامل‌های پستی‌بلندی، بارندگی، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، سنگ‌شناسی و کاربری زمین به‌عنوان متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده در نظر گرفته شدند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل ترکیبی جنگل چرخشی و تقویتی چندگانه کارایی بیشتری داشت و در شرایطی که تعداد داده‌های اندازه‌گیری آب‌دهی چشمه‌ها و چاه‌ها محدود باشد، این مدل قادر به پیش بینی توان آب زیرزمینی در سطح گسترده است. ساچدوا و کومار (۲۰۲۱) برای تهیه‌ی نقشه‌ی آب‌های زیرزمینی نهفته در دهپلپور هند، مدل‌های درختان تصمیم‌گیری پیشرفته و جنگل تصادفی را با یکدیگر مقایسه کردند. در این پژوهش ۱۴ عامل تأثیرگذار بر آب زیرزمینی برای منطقه بررسی‌شده در نظر گرفته شد. با استفاده از ویژگی‌های عملکرد گیرنده (ROC)، عملکرد پیش‌بینی این مدل‌ها با هم مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد مدل درخت تصمیم‌گیری تقویت‌شده در مقایسه با مدل جنگل تصادفی عملکرد بهتری داشت. نقشه‌ی تولیدشده براساس مدل برتر نشان داد که برای تولید آب‌های زیرزمینی ۲۰/۲٪ از مساحت منطقه در طبقه‌ی توان بسیار زیاد بودند. کمبود داده‌های لازم در شناسایی توان منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت (محدوده‌های خارج از آبخوان) یکی از مهم‌ترین مسائلی است که غالباً هنگام اجرای مدل‌سازی آبی، پژوهشگران با آن روبرو هستند. بنابراین، بررسی وضعیت توان منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب پایدار است. از این رو استفاده از مدل‌سازی مکانی برای تعیین توان ذخیره و بهره‌برداری آب زیرزمینی گامی رو به جلو در زمینه‌ی مدیریت منابع آب زیرزمینی می‌باشد. استان خراسان شمالی در زمره‌ی استان‌های رو به رشد کشور است که با پدیده‌ی افزایش جمعیت و به‌تبع آن چالش تأمین نیاز آبی در بخش شرب، کشاورزی و صنعت روبرو می‌باشد. در سال‌های اخیر در این استان وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی خوب نبوده است به‌طوری‌که وزارت نیرو توسعه‌ی بهره‌برداری از منابع آب بسیاری از دشت-های خراسان شمالی را ممنوع کرده است. به‌دنبال افزایش مشکلات اجتماعی- اقتصادی در استان، ضرورت توجه به منابع آب زیرزمینی بیشتر شده است. از آنجایی که تعیین وضعیت توان منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های آبی و عددی نیازمند اطلاعات دقیق و زیاد هستند، استفاده از آن‌ها در بسیاری از محدوده‌های پژوهشی امکان‌پذیر نیست. در این پژوهش سعی بر آن است که یک روش نوین برای حل این مشکل پیشنهاد شود تا براساس اطلاعات موجود از وضعیت آب‌دهی چشمه‌ها و نقشه‌های عامل‌های محیطی بتوان از وضعیت توان آب زیرزمینی منطقه پیش‌بینی صحیحی انجام داد. هدف از این پژوهش مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های ترکیبی در پیش‌بینی توان منابع آب زیرزمینی، تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی توان آب زیرزمینی براساس بهترین مدل و تعیین اندازه‌ی مشارکت متغیرهای محیطی در وضعیت توان منابع آب زیرزمینی می‌باشد. علت انتخاب محدوده‌ی پژوهشی بجنورد در استان خراسان شمالی این است که وضعیت توان آب زیرزمینی آن به‌دلیل نبود اطلاعات آبی و چاه‌های اندازه‌گیری، کاملاً نامشخص است. بنابراین، برای رفع این مشکل استفاده از مدل‌های آبی و عددی محدودیت زیادی دارند. بخش زیادی از آب آشامیدنی شهر بجنورد و روستاهای منطقه که در این محدوده‌ی پژوهشی هستند، از آب زیرزمینی تهیه می‌شود. این موضوع، اهمیت بررسی توان آب زیرزمینی با استفاده از رویکردهای نوین را دوچندان می‌کند. لازم به ذکر است که دستورالعمل‌های فراکاوشی موجب

بهینه‌سازی مدل‌های یادگیری ماشینی شده و در نهایت دقت پیش‌بینی مدل یادگیری ماشینی افزایش می‌یابد.

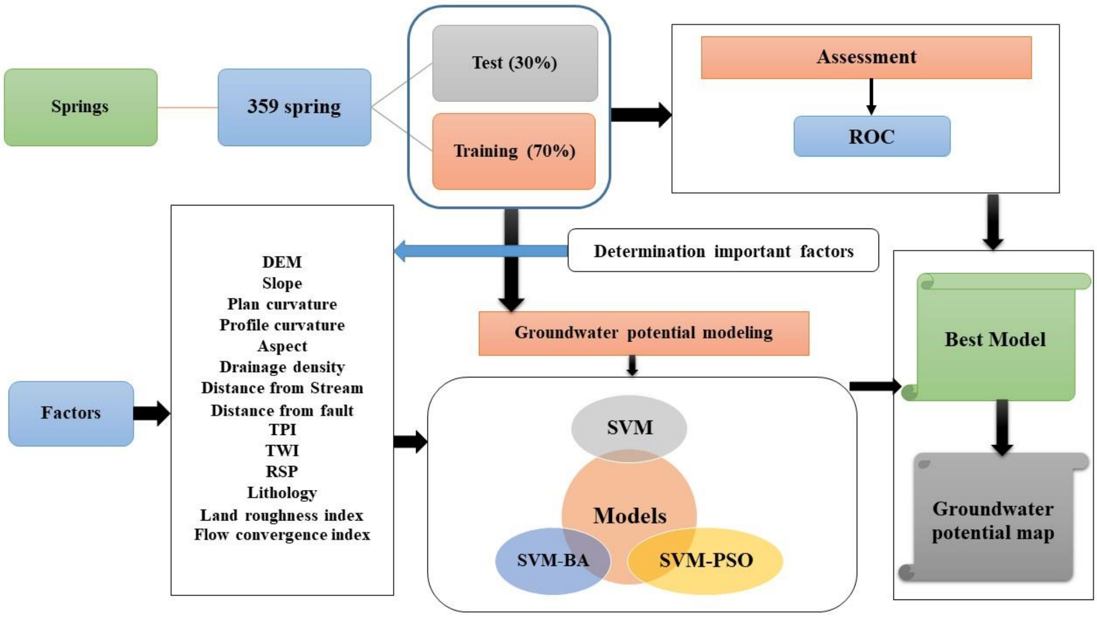
مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه‌ی بجنورد در استان خراسان شمالی که میان عرض‌های جغرافیایی ′۱۰ °۳۷ و ′۳۰ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۰۰ °۵۷ و ′۴۰ °۵۷ شرقی است، انجام شد. بلندی منطقه‌ی بجنورد از ۸۷۵ تا ۲۹۶۸ متر متغیر است. اندازه‌ی بارندگی سالانه حدود ۲۷۲ میلی‌متر است و حداقل و حداکثر دمای منطقه به‌ترتیب ۶/۸ تا 19/7°C است. موقعیت منطقه‌ی بررسی‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است. گسل‌ها و شکستگی‌های زیادی در منطقه‌ی بررسی‌شده وجود دارد که نقش مهمی در گسترش چشمه‌ها دارند. لازم به ذکر است که منابع آب زیرزمینی ۸۸٪ از منابع آب استان خراسان را تأمین می‌کند. روندنمای مرحله‌های انجام پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه و چشمه‌های بررسی‌شده در پژوهش.

Figure 1- The area study and the location of the springs in the current research.



شکل ۲- روندنمای مرحله‌های انجام پژوهش.
Figure 2- Flowchart of the research.

از بخش‌های مهم هر پژوهش جمع‌آوری داده‌ها و ساخت یک پایگاه داده مکانی است (پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۳). براساس بررسی‌های مشاهده‌ای پرشمار و اسناد شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان شمالی اطلاعات مربوط به موقعیت ۳۵۹ چشمه جمع‌آوری شد. در هنگام اجرای مدل‌های داده‌کاوی باید نقطه‌های استفاده‌شده برای آموزش مدل از نقطه‌های اعتبارسنجی متفاوت باشند (لی و همکاران ۲۰۱۷). از چشمه‌های آموزشی در تحلیل‌ها استفاده می‌شود و اعتبارسنجی نقشه‌ی نهایی با استفاده از چشمه‌های اعتبارسنجی انجام می‌شود (قوش و کارانزا ۲۰۱۰؛ اوزدمیر ۲۰۱۱). بنابراین از دستورالعمل تقسیم‌بندی تصادفی (رحمتی و ملسه ۲۰۱۶؛ نمپاگ و همکاران ۲۰۱۴) برای تقسیم نقطه‌های آموزشی و نقطه‌های اعتبارسنجی استفاده شد. برای آموزش مدل از ۷۰٪ چشمه‌ها (۲۵۱ چشمه) و برای اعتبارسنجی مدل از ۳۰٪ چشمه‌ها (۱۰۸ چشمه) استفاده شد.

طبقه‌های بلندی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی مؤثر در توان آب زیرزمینی می‌باشد که نقش مهمی در تغییرات مکانی شرایط آب‌شناختی مانند جریان آب زیرزمینی، رطوبت خاک، اندازه‌ی نفوذپذیری و ضریب رواناب دارد (پورقاسمی و بهشتی‌راد ۲۰۱۵). این عامل در شیب آبی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش اساسی دارد (نقیبی و همکاران ۲۰۱۶). عامل شیب یکی از سنجه‌های ضروری زمین‌ریخت‌سنجی است. این عامل در تعیین توان آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. نقش عامل شیب توانایی نگهداری آب به اندازه‌ی کافی روی سطح زمین است تا بتواند در آن نفوذ کند (داوودی‌مقدم و همکاران ۲۰۱۳). منطقه‌هایی که شیب کمتری دارند، برای مدت طولانی آب را حفظ می‌کنند که این امر امکان نفوذ و تغذیه آبخوان را بیشتر می‌کند و یک عامل مؤثر بر رواناب سطحی، تراکم زهکشی و رطوبت خاک است (گروی ۲۰۱۱). جهت شیب قرار گرفتن در معرض نور خورشید را تعیین می‌کند و به‌دنبال آن آثار تبخیر نیز به‌عنوان یک عامل پیش‌بینی در نظر گرفته می‌شود (دای و همکاران ۲۰۰۱). تغییرات جهت شیب منجر می‌شود که اندازه‌ی انرژی خورشیدی دریافت‌شده به‌وسیله‌ی سطح زمین متفاوت باشد. همچنین این تغییرات بر اندازه‌ی رطوبت خاک، نوع، اندازه، توزیع تاج پوشش و در نهایت بر تبخیر و تعرق تأثیرگذار است (رحمتی و ملسه ۲۰۱۶؛ نقیبی و همکاران ۲۰۱۸). شاخص رطوبت پستی‌بلندی (TWI) تأثیر پستی‌بلندی بر برخی از خصوصیات آب‌شناختی را کاهش می‌دهد. این شاخص روند جمع‌آوری آب در مکان‌های مختلف و تأثیر گرانش بر نفوذ آب به سمت پایین به یک سفره‌ی آبخوان را توصیف می‌کند (قربانی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۷). افزایش فاصله از رودها، به‌ویژه رودهایی با جریان دائمی یا رودهایی که جریان بیشتری دارند، می‌تواند تأثیر منفی بر توان آب زیرزمینی داشته باشند (دیپا و همکاران ۲۰۱۶). برای تهیه‌ی لایه‌ی فاصله از رودها، از تابع فاصله‌ی اقلیدسی در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 استفاده شد. عامل‌های ساختمانی و زمین‌ساختی (تکتونیکی) نظیر گسل‌ها به‌عنوان نقطه های ضعف واحدهای زمین‌شناسی به‌شمار

می‌روند و راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به‌شکل آبگیرهای زیرزمینی می‌باشند. گسل‌های منطقه‌ی بررسی‌شده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱۰۰۰۰۰: ۱ که به‌وسیله‌ی اداره‌ی مطالعات زمین‌شناسی ایران (۱۹۹۷) تولید شده بود، شناسایی شدند. نوع سنگ و ویژگی‌های وابسته به آن نظیر بافت و درجه‌ی خلوص سنگ‌ها روی ویژگی‌های مختلف یک آبخوان، به‌ویژه تخلخل و نفوذپذیری آن و در نهایت تمرکز جریان آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها تأثیرگذار است. این دو ویژگی نیز بر وجود و حرکت آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار است (اوزدمیر ۲۰۱۱). سفره‌های زیرزمینی مناسب معمولاً در نهشته‌های آبرفتی سازندهای کواترنر گزارش شده است (رحمتی و ملسه ۲۰۱۶). پژوهش‌ها نشان‌گر آن است که شکل و تراکم زهکشی هر منطقه به‌وسیله‌ی پستی‌بلندی، واحدهای زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، نوع خاک، نفوذ، ظرفیت جذب آب در خاک، تاج پوشش، آب و هوا و ساختارهای زمین‌ساختی و زمین شناسی منطقه مهار می‌شود. آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را دارند و با نفوذپذیری زمین رابطه‌ی معکوس دارند. سطح زهکشی زیاد نفوذ را کاهش می‌دهد و رواناب را افزایش می‌دهد. بنابراین، منطقه‌هایی با تراکم زهکشی کم برای گسترش آب زیرزمینی مناسب هستند (مناپ و همکاران ۲۰۱۴). شاخص موقعیت پستی‌بلندی (TPI) به‌شکل تفاوت میان پیکسل مرکزی و میانگین سلول‌های پیرامون آن تعریف‌شده است و موقعیت مربوط به هر پیکسل را نشان می‌دهد. شاخص زبری سطح یا ناهمواری زمین (TRI) معیاری است که به‌وسیله‌ی رایلی و همکاران (۱۹۹۹) برای بیان تفاوت بلندی میان یک سلول و میانگین ماتریس هشت سلولی سلول‌های پیرامون تعریف شده است. شاخص TRI دامنه های محدب و مقعر را نشان می‌دهد (کلانتری و همکاران ۲۰۱۷). موقعیت شیب نسبی (RSP) یکی دیگر از شاخص‌هایی است که از روی مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از نرم‌افزار SAGA تهیه شده است. این شاخص، صفات پستی‌بلندی منطقه‌ی پژوهش (مانند قله‌ها، دره‌ها، سطح‌های مسطح، دامنه‌های میانی، پایین و بالا) را نشان می‌دهد (رحمتی و همکاران ۲۰۱۸). از شاخص همگرایی جریان (CI) برای تشخیص ناحیه‌ی همگرا از ناحیه‌ی واگرای جریان استفاده می‌شود (ثومرت ۲۰۰۹)، بنابراین می‌توان برای مدل‌سازی توان آب زیرزمینی از آن استفاده کرد (لیو و همکاران ۲۰۱۵). شاخص CI می‌تواند براساس نقشه‌ی جهت شیب محاسبه شود. با محاسبه‌ی میانگین زاویه میان جهت سلول‌های مجاور به سمت سلول مرکزی CI به‌دست می‌آید و سپس از ۹۰ درجه کم می‌شود. اندازه‌های CI مثبت نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی واگرا و اندازه‌های CI منفی نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی همگرا است. بنابراین اندازه‌ی CI کمتر نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی توان آب زیرزمینی بیشتر و تجمع آب‌های زیرزمینی است (لیو و همکاران ۲۰۱۵).

مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)

مدل ماشین بردار پشتیبان به‌دلیل اینکه بر پایه‌ی نظریه‌ی یادگیری و نظریه‌ی ابعادی آماری است، از این رو نوعی سامانه‌ی طبقه‌بندی نظارت‌شده به‌شمار می‌آید. از آنجایی‌که مدل SVM قابلیت استفاده مشترک برای دو عملیات طبقه‌بندی و وایازی را دارد، از این رو، در سال های اخیر به‌وسیله‌ی پژوهشگران بسیاری از رشته‌های مختلف استفاده‌شده است (کلانتری و همکاران ۲۰۱۷). این مدل مجموعه‌ای از تابع های طبقه‌بندی است که قابلیت ارزیابی خطا و تعمیم مناسب اطلاعات را دارد و با به‌کارگیری اطلاعات لایه‌های عامل‌های مستقل و تکرار فرآیند مدل‌سازی، پیچیدگی را کاهش می‌دهد. اگر داده‌های ورودی (متغیرهای مستقل و وابسته) به‌شکل خطی مجزا از هم باشند، می‌توان با کاربرد این مدل ماشین‌های خطی برای تولید یک سطح بهینه را پیشنهاد داد و سپس تفکیک داده‌ها با خطای کم و ایجاد حداکثر فاصله میان صفحه و نزدیک‌ترین نقطه‌های آموزشی (بردارهای پشتیبان) را انجام داد (پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۳). براساس نظریه‌ی یادگیری آماری، کرانه‌ی ارزش یادگیری ماشین برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به‌عنوان ارزش خطای تعمیم‌یافته در نظر گرفته می‌شود که در قالب تابعی از مجموعه ارزش خطاهای آموزشی نسبت به نمایش اندازه‌ی پیچیدگی طبقه‌بندی کننده‌ها اعمال می‌شود (یاعو و همکاران ۲۰۰۸). از این رو، به‌منظور به حداقل رساندن نرخ خطاهای تعمیم‌یافته باید نرخ خطای آموزش و پیچیدگی را کاهش داد که این کار با استفاده از صفحه جدایش که وظیفه افزایش حاشیه بین طبقه‌ها را بر عهده دارد انجام می‌شود. بردارهای پشتیبان، داده‌های نقطه‌ای نزدیک به این صفحه هستند که بخشی از اعضای کلیدی داده‌های آموزشی به‌شمار می‌آیند (پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۳). افزایش پایداری مدل نسبت به اختلال، وابسته به بزرگ‌تر بودن صفحه‌ی جدایش است. هدف اصلی دستورالعمل‌های مدل SVM، حل مسئله‌های بهینه‌سازی درجه‌ی دوم است. در فرآیند مدل‌سازی، مدل SVM سلول‌های آموزشی را به‌شکل مجموعه‌ای مجزا و خطی انتخاب می‌کند (رابطه‌ی ۱).

(۱) $(Xi(i = 1,2,\ldots,n))$

سلول‌های آموزشی دو طبقه و به‌شکل رابطه‌ی ۲ است.

(۲) $Yi=\pm 1$

هدف اصلی مدل SVM شناسایی یک صفحه‌ی جدایش n بعدی است که بتواند بیشترین شکاف و فاصله بین دو طبقه ایجاد کند و درنهایت منجر به کاهش متغیر ||w|| شود. بیان ریاضی مطلب مزبور به‌شکل رابطه‌های ۳ و ۴ نشان‌داده شده است (یاعو و همکاران ۲۰۰۸).

(۳) $1/2\ ||w||2$

(۴) $W.\ Xi) + bi) \geq 1$

||w|| قدر مطلق صفحه‌ی جدایش بهنجار، b: پایه (مبنایی) عددی است.

برای حل مسئله‌ی مزبور از یک رابطه‌ی لاگرانژی شامل ضریب افزاینده با نام λi استفاده می‌شود که با کاهش ضریب‌های W و b و افزایش λi اندازه‌ی L لاگرانژی کاهش یابد. درنهایت شکل کلی معادله در رابطه‌ی ۵ نشان‌داده شده است.

(۵)

$$L = \frac{1}{2}(w)^2 - \sum_{i=1}^{n} \lambda i(Yi((W.Xi) + b) - 1$$

مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی زنبورعسل (SVM-BA)

دستورالعمل زنبورعسل (BA) یک دستورالعمل بهینه‌سازی است که با الهام از رفتار تغذیه‌ای طبیعی زنبورهای عسل اجرا می‌شود. تنظیم سنجه‌های دستورالعمل زنبورعسل به شرح زیر انجام شد (فام و همکاران ۲۰۰۶):

۱- تعداد زنبورهای پیشاهنگ (n)

۲- تعداد مکان‌های برگزیده از n پایگاه بازدیدشده (e)

۳- تعداد بهترین پایگاه‌ها از n پایگاه بازدیدشده (b)

۴- تعداد زنبورهای به‌کار گرفته‌شده برای مکان‌های برگزیده الکترونیکی (n1)

۵- تعداد زنبورهای به‌کار گرفته‌شده برای بهترین مکان‌های b(n2)

۶- تعداد زنبورهای به‌کار گرفته‌شده برای دیگر مکان‌های بازدیدشده (r)

۷- معیار جستجو و توقف پای‌کوبی زنبورهای همسایه (ngh).

دستورالعمل زنبورعسل با n تعداد زنبور پیشاهنگ شروع می‌شود که در فضای جستجو به‌شکل تصادفی هستند. ارزیابی برازندگی به شروع حلقه و ارزیابی شایستگی زنبور پیشاهنگ مربوط است. زنبورهای پیشاهنگ با برازندگی زیاد به‌عنوان زنبورهای برگزیده انتخاب می‌شوند و مکان‌هایی که به‌وسیله‌ی آن‌ها بازدید شده‌اند به‌عنوان مجاورت جستجو انتخاب می‌شوند. دستورالعمل جستجوها در مجاورت مکان‌های انتخاب‌شده متمرکز می‌شود و به‌منظور پای‌کوبی در نزدیکی مکان‌های انتخاب‌شده زنبورهای بیشتری را به خدمت می‌گیرد. زنبورهای به خدمت گمارده‌شده مطابق با برازندگی مرتبط با مکان‌های ویژه پای‌کوبی قادر به انتخاب مستقیم هستند (رابطه‌ی ۶).

(۶)

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) * (Rand - 0.5) * 2 + X_{id}(t)$$

Xi: به‌عنوان iامین X، i: برابر با یک تا n، d: بعدی در Xi، d: برابر با یک تا D، t: تکرار، $X_{id}(t+1)$:d امین بعد در iامین X در تکرار d، Rand: تعداد واقعی با توزیع تصادفی و یکنواخت در محدوده‌ی صفر تا یک، n: تعداد زنبورهای پیشاهنگ است. زنبورهای نخبه به‌عنوان شکل‌دهنده‌ی اولین تمرکز در جستجوی راه حل بهینه‌ی محلی و تمرکز نهایی متفاوت هستند. اندازه‌های برازندگی پیوسته به‌منظور تعیین بهترین زنبورها و زنبورهای نخبه انتخابی استفاده شد. زنبورهای باقی‌مانده به‌شکل تصادفی در پیرامون فضای جستجوی پیشاهنگ به‌منظور راه‌حل‌های توان جدید به‌کارگرفته شدند. دستورالعمل زنبورعسل به جستجوی تصادفی وابسته است که به‌طور نسبی در جستجوی فعالیت های محلی است. هم‌چنین، دستورالعمل BA قابلیت جستجوی رکوردهای گذشته به‌وسیله‌ی دستورالعمل بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) را نداشت.

مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات (SVM-PSO)

دستورالعمل بهینه‌سازی برای ازدحام ذرات نوعی دستورالعمل بهینه‌سازی است که الهام گرفته از رفتار تغذیه‌ای پرندگان برای یافتن راه‌حل بهینه است. در دستورالعمل PSO، جمعیتی از ذرات در یک فضای جستجو با هدف یافتن مطلوب‌ترین، با دنبال کردن ذرات بهینه‌ی فعلی و تغییر موقعیت آن‌ها شروع به حرکت می‌کنند. موقعیت یک ذره به یک راه حل ممکن به عملکرد بهینه‌سازی اشاره دارد. ارزیابی عملکرد با توجه به موقعیت ذرات، شایستگی آن راه حل را فراهم می‌کند. در هر تکرار، هر ذره با دنبال کردن بهترین راه حل به‌دست‌آمده از ذره‌ی کنونی (بهترین محل) و

بهترین جمعیت (بهترین جهان) به‌روزرسانی می‌شود. زمانی که یک ذره بخشی از جمعیت همسایگان مکان‌شناسی (توپولوژیک) را در برمی‌گیرد، بهترین اندازه به‌عنوان بهترین محل در نظر گرفته می‌شود. ذرات مایل به حرکت به‌سوی منطقه‌های خوبی که در فضای جستجو و در پاسخ به گستردگی اطلاعات از راه ازدحام هستند، می‌باشند. حرکت‌های یک ذره به‌سوی موقعیت جدید از راه سرعت به‌روز شده در هر زمان از مرحله‌ی t با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه‌ی ۳ سرعت جدید به‌عنوان موقعیت و سرعت قبلی محاسبه شد.

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + v_{id}(t+1) \tag{۷}$$

x_i: iامین X، i: از یک تا n، V_i: iامین V، d: بعدی در x_i یا V، d: از یک تا D، t: تکرار، $X_{id}(t)$: dامین بعد در iامین x در t تکرار، $V_{id}(t+1)$: dامین بعد در iامین V در t+1 تکرار، $X_{id}(t+1)$: dامین بعد در iامین x در t+1 تکرار، n: تعداد ذرات است.

$$v_{id}(t+1) = W * v_{id}(t) + C_1 * Rand * [P_{id}(t) - X_{id}(t)] + C_2 * Rand * [G_d(t) - x_{id}(t)] \tag{۸}$$

$V_{id}(t)$: dامین بعد در iامین V در t تکرار، w: وزن تکرار و مهارکننده مغناطیس سرعت گذشته در محاسبه‌های سرعت جدید، $V_{id}(t)$، $P_{id}(t)$: d امین بعد در iامین برترین ذره‌ی محلی در t تکرار، $G_d(t)$: d امین بعد جهانی بهترین ذره در t تکرار، C_1 و C_2: تعیین‌کننده‌ی معنی‌داری $P_{id}(t)$ و $G_d(t)$، Rand: تعداد واقعی توزیع‌شده به‌شکل تصادفی و یکنواخت در محدوده‌ی صفر تا یک است. V_{id} در هر مرحله‌ی زمانی از دستورالعمل به‌وسیله‌ی سنجه‌های V_{max} و V_{min} محدود می‌شود. ازدحام در دستورالعمل PSO، در فضای جستجو با اختصاص هر ذره به یک موقعیت یکنواخت که به‌طور تصادفی انتخاب‌شده آغاز می‌شود. سرعت‌ها به‌شکل تصادفی در محدوده‌ی V_{max} و V_{min} آغاز می‌شود. سرعت ذرات در هر بعد به سرعت حداکثر V_{max} بند می‌شود. چنانچه سرعت آن بعد فراتر از V_{max} یا V_{min} باشد (سنجه‌های مشخص‌شده به‌وسیله‌ی کاربر)، سرعت آن بعد به V_{max} یا V_{min} محدود می‌شود.

تعیین اهمیت نسبی و اندازه‌ی مشارکت متغیرهای زمین- محیطی پیش‌بینی‌کننده

براساس تحلیل حساسیت حذفی، اندازه‌ی اهمیت و مشارکت متغیرهای ورودی در توان‌یابی آب زیرزمینی مشخص شد. در این آزمون در مرحله‌ی اول مدل‌سازی با کل متغیرها انجام شد. سپس با استفاده از روش حذفی، در هر مرحله یکی از متغیرهای مستقل حذف شد و مدل‌سازی بدون آن متغیر انجام شد؛ سپس اندازه‌ی افت دقت نقشه‌ی نهایی در ازای حذف آن متغیر محاسبه شد. متغیری که با حذف آن بیشترین افت دقت رخ داد در پیش‌بینی و مدل‌سازی سهم زیادی داشت (رحمتی و ملسه ۲۰۱۶).

ارزیابی نتایج مدل‌سازی

ارزیابی دقت مدل‌ها در دو مرحله‌ی آموزش (یادگیری) و اعتبارسنجی (آزمایش) براساس روش منحنی مشخصه عامل گیرنده (ROC) انجام شد. منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین و جامع‌ترین روش‌ها در شناسایی احتمال و پیش‌بینی سامانه‌ها است که اندازه‌ی دقت مدل را به‌طور کمی برآورد می‌کند و به‌شکل گسترده به‌منظور آزمون مدل حساسیت‌پذیری خطرهای طبیعی استفاده‌شده است (پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۳). منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنه بین ارزش خطای منفی و مثبت برای هر اندازه‌ی احتمالی از برش ها[1] است. محور X درصد اختصاصیت[2] (احتمال تشخیص صحیح نقطه‌های شبه نبودن رخداد) و محور Y حساسیت[3] (احتمال تشخیص صحیح نقطه های رخداد) را نشان می‌دهد. سطح زیر نمودار (AUC) به‌دست‌آمده به‌عنوان معیاری از قدرت تفکیک مدل در تشخیص نقطه‌های وجود رخداد از نبودن رخداد است. چنانچه مدلی نتواند حضور چشمه را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) برآورد کند اندازه‌ی AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد بیان‌گر بهترین دقت از نقشه‌ی حساسیت‌پذیری تهیه‌شده، است. همبستگی کیفی- کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی برآورد به‌شکل زیر است (دوکوتا و همکاران ۲۰۱۳):

(۱- ۰/۹، عالی؛ ۰/۹ -۰/۸، خیلی خوب؛ ۰/۸-۰/۷، خوب؛ ۰/۷-۰/۶، متوسط؛ ۰/۶-۰/۵، ضعیف).

نتایج

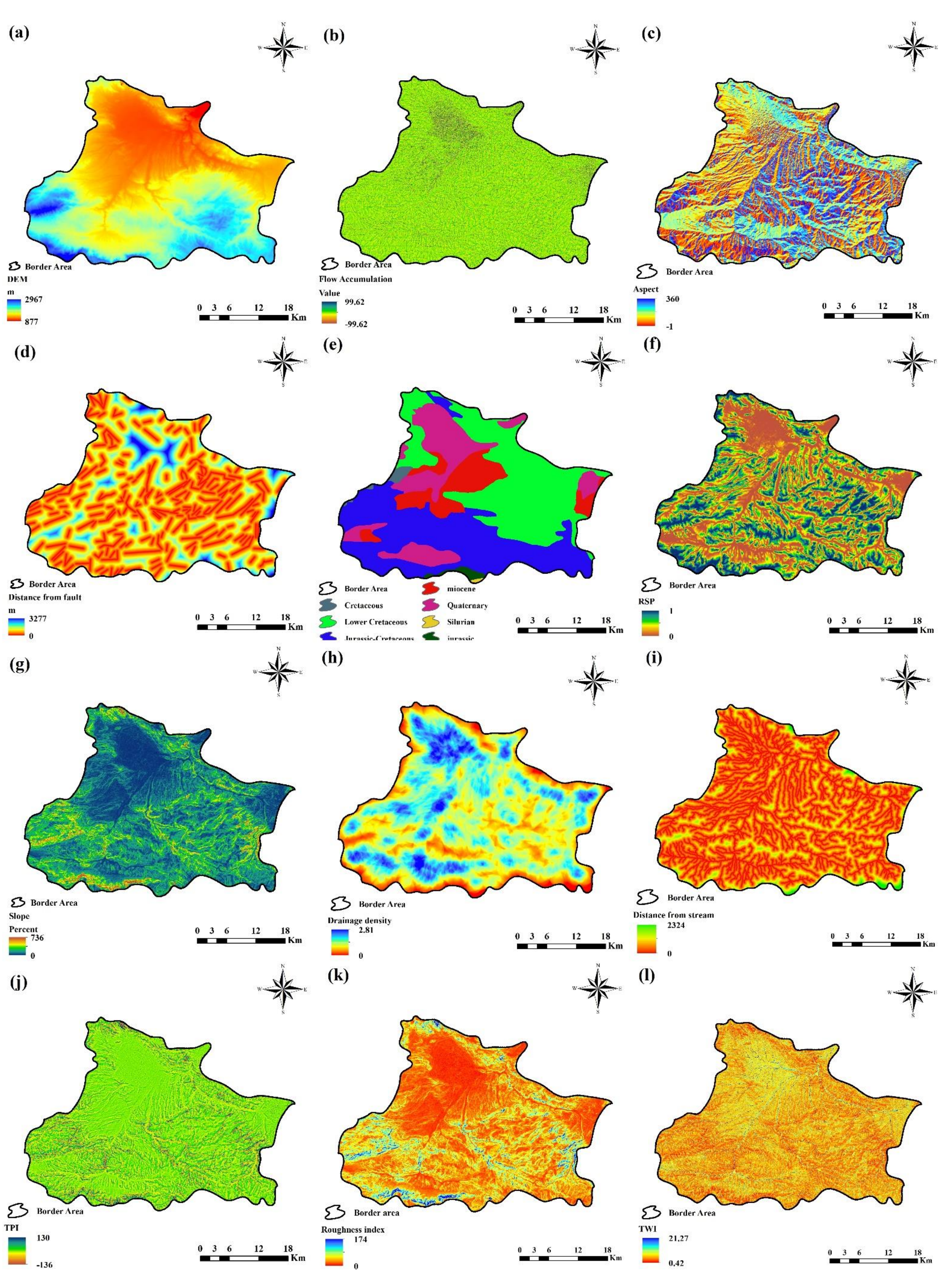
عامل‌های زمین-محیطی

براساس نقشه‌ی بلندی کمترین و بیشترین بلندی منطقه به‌ترتیب ۸۷۷ و ۲۹۶۷ متر بود. بخش‌های بلند در قسمت جنوبی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی بودند. بخش‌های با بلندی کم در قسمت‌های میانی،

1 - Trade off
2 - Specificity
3 - Sensitivity

شمالی و شمال‌شـــرقی مشاهده شـــد. براساس نقشه‌ی شیب زمین، کمترین و بیشترین اندازه‌ی شیب به‌ترتیب صفر و ۷۳۵٪ محاســـبه شـــد. بخش‌های کم شیب غالباً در قســـمت‌های میانی آبخیز بودند. بخش‌های دیگری از آبخیز از جمله شـــرق، جنوب، شـــمال و غرب زمین‌های هموار داشـــتند. لکه‌های زیـــادی از منطقه مخصوصاً در قسمت‌های جنوبی، غربی و شـــرقی شیب زیاد داشتند. تنوع جهت شـــیب در این آبخیز زیاد بـــود و طبقه‌های جهت شـــیب نیز توزیع فراوانی نســـبتاً مشابهی داشت. فراوانی طبقـــه‌ی بدون جهت کمتر از یـــک درصد بود. اندازه‌ی شاخص رطوبت پستی‌بلندی آبخیز مطالعه‌شده از ۰/۴۲ تـــا ۲۱/۲ متغیر بود. بخش‌های شمال‌شـــرقی و میانی بیشترین اندازه‌ی شاخص رطوبت پستی‌بلندی را داشـــتند و منطقه‌های بلند در قسمت‌های شرقی، غربی و جنوبی کمترین اندازه‌ی شـــاخص رطوبت پستی‌بلندی را کســـب کردند. از آنجایی که آبراهه‌ها شریان‌های یک آبخیز هســـتند، فاصله از آن‌ها یک معیار مهم در شرایط بوم‌شناختی و آب‌شناختی به‌شمار می‌آید. اندازه‌ی فاصله از آبراهه در ایـــن آبخیز از صفر تا ۲۳۲۴ متر متغیر بود. اندازه‌ی تراکم زهکشی بخش-های مختلف آبخیز از صفر تـــا ۲/۸۱ کیلومتر بر کیلومترمربع متغیر بود. بیشـــترین اندازه‌ی تراکم زهکشی در بخش‌های شمال‌غربی، میانی، جنوب‌غربی و لکه‌هایی از شـــرق منطقه بود. قسمت‌های مرکزی و حاشـــیه‌ای آبخیز مطالعه‌شـــده اندازه‌ی تراکم زهکشی کم تا متوسط داشتند. تمرکز جریان آب سطحی آبخیز عموماً در منطقه‌هایی با تراکم زهکشی زیاد شکل گرفته اســـت. این آبخیز گســـل‌های زیادی داشـــت که زمین شناسی ســـاختمانی آن را پیچیده بود و به نوبه‌ی خود بـــر وضعیت نفوذ جریان‌های ســـطحی و همچنین ظهور چشـــمه و خروجی جریان زیرسطحی تأثیر زیادی داشت. اندازه‌ی فاصله از گســـل در این آبخیز از صفر تا ۳۲۷۷ متر متغیر بود. براســـاس موقعیت مکانی گسل‌ها، بخش های میانی، شرقی و غربی بیشترین تراکم گسل را داشتند. تنوع خصوصیات واحدهای سنگ‌شناسی و زمان تشـــکیل آنها باعث‌شده است که فرایندهای آب‌شناختی و آب‌زمین‌شناختی (هیدروژئولوژیکی) گسترده و عمیقی در این آبخیز رخ دهد. بیشترین سطح آبخیز از واحدهای سنگ‌شناسی زمان ژوراسیک کرتاسه با مساحت ۳۵/۵۷٪ و واحدهای سنگ‌شناسی زمان کرتاسه زیرین با مساحت ۳۴/۲٪ است. اندازه‌ی شـــاخص موقعیت پستی‌بلندی از ۱۳۶- تا ۱۳۰ متغیر بود. بیشـــترین اندازه‌های شاخص موقعیت پستی‌بلندی در بخش‌های شمال‌شرقی، غربی، جنوبی و شرقی مشـــاهده شد. در حالی که این شاخص در قســـمت‌های میانی آبخیز متوســـط و خیلی کم بود. اندازه‌ی شـــاخص ناهمواری زمین در این آبخیز از صفر تا ۱۷۴/۷ متغیر بـــود، به‌گونه‌ای که اندازه‌های هموار در قســـمت‌های شمال‌شـــرقی و لکه‌هایی در شرق و جنوب آبخیز بود. قسمت‌های ناهموار نیز در بخش‌های جنوبی، جنوب‌غربی، شـــرق و شـــمال بودند. اندازه‌ی شـــاخص موقعیت شـــیب نســـبی در منطقه‌ی مطالعه‌شده از صفر تـــا یک متغیر بـــود. با کاربرد این شـــاخص، هر دامنه از لحاظ موقعیت شیب نسبی به طبقه‌های مختلف تقسیم شد. شـــاخص موقعیت شیب نسبی در بخش یال‌ها زیاد بود. این شـــاخص در بخش‌های پای دامنه و خط‌القعرها کمترین اندازه را داشت.

شاخص همگرایی جریان نشان‌دهنده‌ی وضعیت همگرایی جریان‌های سطحی و زیرسطحی است که اندازه‌ی آن در آبخیز مطالعه‌شـــده از ۹۹/۶۲۵- تا ۹۹/۶۲۵ متغیر بود. این نقشه نشان داد که اندازه‌ی شاخص همگرایی جریان در آبراهه‌ها زیاد است. افزون بر این همگرایی جریان در بخش‌هایی از شمال‌غرب، شـــرق و جنوب منطقه بسیار ضعیف بود (شکل ۳).

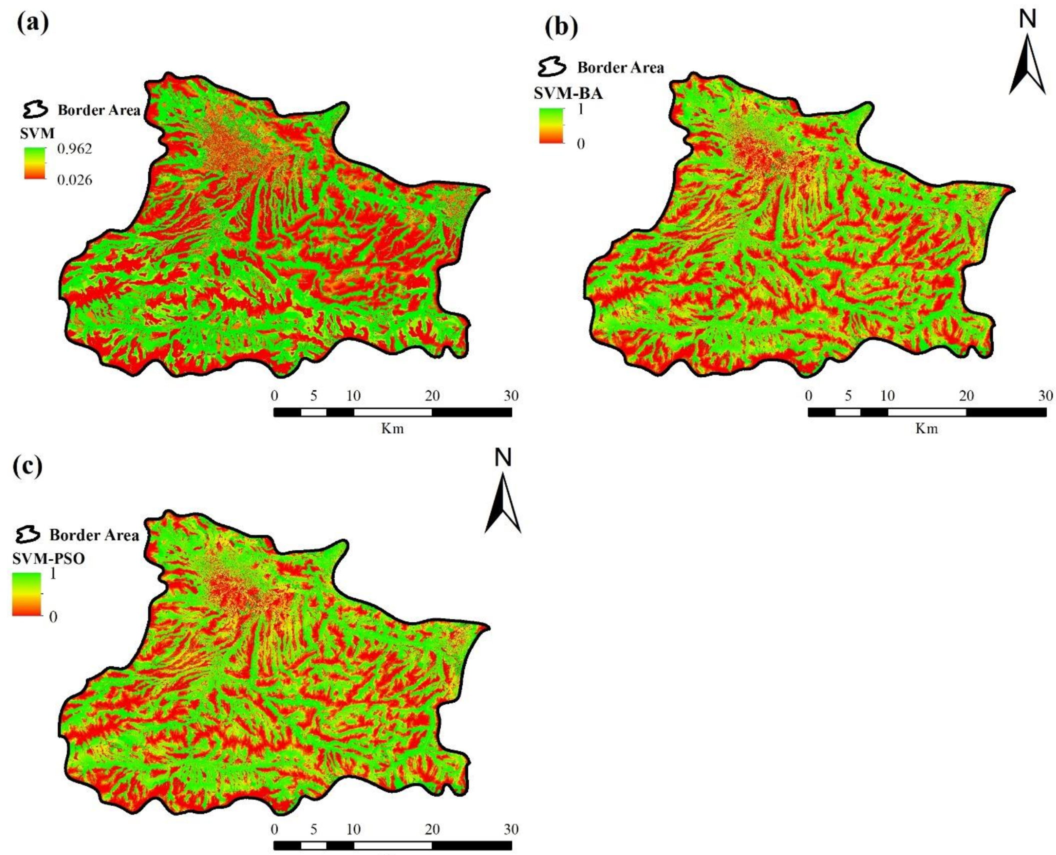


شکل ۳- نقشه‌ی عامل‌های استفاده‌شده در پژوهش.

Figure 3- Map of the factors in the research.

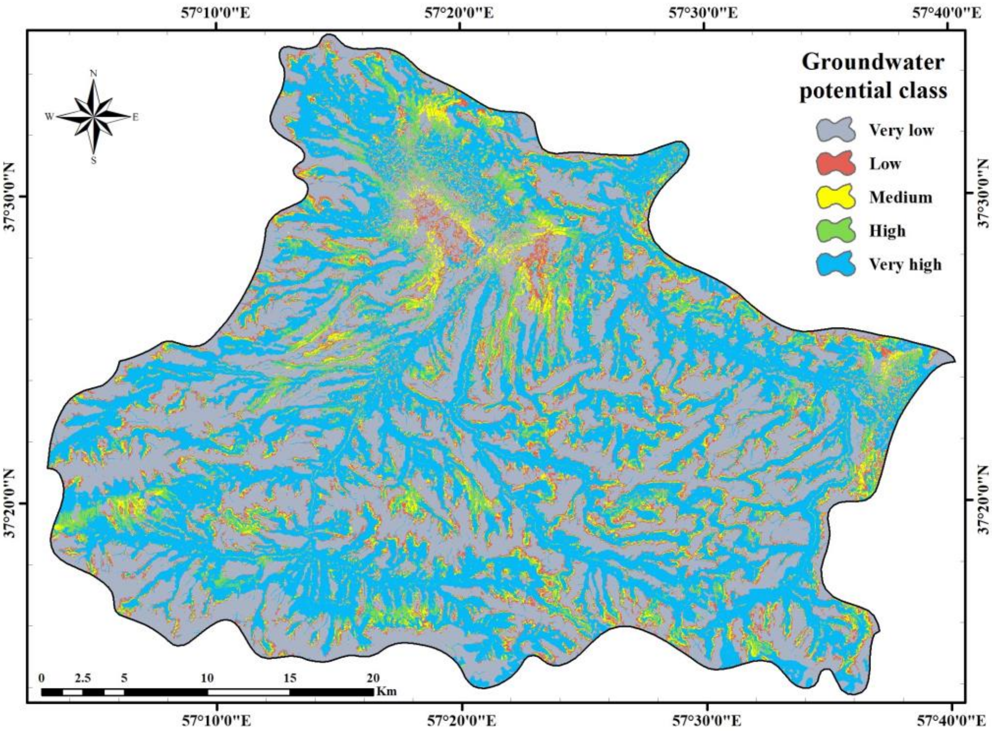
نقشه‌ی توان آب زیرزمینی

اندازه‌ی توان آب زیرزمینی براساس مدل ماشین بردار پشتیبان از ۰/۰۲ تا یک متغیر بود (شکل ۴). براساس خروجی مدل ماشین بردار پشتیبان، منطقه‌های با توان آب زیرزمینی زیاد در اکثر نقطه‌های منطقه‌ی مطالعه‌شده پراکنده بود و امکان دسترسی و بهره‌برداری آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف وجود داشت. اندازه‌ی توان آب زیرزمینی براساس مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه سازی فراکاوشی زنبورعسل از ۰/۰۰۱ تا یک متغیر بود (شکل ۴). براساس نتایج این مدل ترکیبی، منطقه‌هایی که توان آب زیرزمینی زیادی داشتند غالباً در قسمت‌های جنوب‌غرب، جنوب و جنوب‌شرق بودند. افزون بر آن، بخش‌های کوچکی از منطقه در شمال‌غربی و شرق توان آب زیرزمینی زیادی داشتند. این در حالی است که بخش‌هایی که توان آب زیرزمینی کمی داشتند عموماً در شمال و میانه‌ی آبخیز بودند. اندازه‌ی توان آب زیرزمینی براساس مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات از ۰/۰۰۱ تا یک متغیر بود (شکل ۴). براساس نتایج این مدل ترکیبی، اندازه‌ی توان آب زیرزمینی در سراسر منطقه متغیر بود و در بخش‌های مختلف منطقه امکان دسترسی به منابع آب زیرزمینی وجود داشت.



شکل ۴- نقشه‌ی توان آب زیرزمینی براساس مدل‌های استفاده‌شده (SVM, SVM-PSO, SVM-BA) در پژوهش.
Figure 4- Groundwater potential map based on the models used (SVM, SVM-PSO, SVM-BA) in the research.

نقشه کلاس توان آب زیرزمینی حاصل از مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات به‌عنوان مدل برتر در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این مدل، کلاس توان آب زیرزمینی خیلی زیاد در سراسر آبخیز پراکنده شده و درعین حال کلاس توان آب زیرزمینی خیلی پایین نیز در بخش‌های زیادی از منطقه قابل مشاهده است. توزیع مکانی به‌دست‌آمده (جدول ۱) نشان دهنده وضعیت پیچیده جریان و ذخیره آب زیرزمینی در سازندهای منطقه است که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان شناخت کامل‌تری از توان آب زیرزمینی برای مصارف و برنامه‌های مختلف پیدا نمود.



شکل ۵- طبقه‌بندی توان آب زیرزمینی با استفاده از مدل SVM_PSO.

Figure 5- Classification of Groundwater potential using SVM_PSO model.

جدول ۱- مساحت طبقه‌های توان آب زیرزمینی براساس مدل برتر.

Table 1- Area of groundwater potential classes based on the best model.

model	Groundwater potential class	Area (ha)	Area (%)
Support vector machine and optimization algorithm of particle swarm optimization (SVM-PSO)	Very low	50984.73	39.85
	Low	10427	8.15
	Moderate	7160.14	5.59
	High	9909.18	7.75
	Very High	49471.29	38.66

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

اعتبارسنجی و ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل براساس داده‌های گروه اعتبارسنجی (۳۰٪ کل چشمه‌ها) انجام شد. معیار ارزیابی مساحت زیرمنحنی عامل گیرنده (AUC) که به‌عنوان معتبرترین مؤلفه‌ی تعیین کارایی مدل شناخته شده است، نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) ۰/۹۱۸، مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی زنبورعسل (SVM-BA) ۰/۹۳۲ و مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات (SVM-PSO) ۰/۹۴۵ است (جدول ۲). بنابراین، می‌توان گفت که مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات (SVM-PSO) در پیش بینی توان آب زیرزمینی بیشترین دقت و عملکرد (۹۴/۵٪) را داشت. شایان ذکر است از آنجایی که معیار مساحت زیرمنحنی راک برای هر سه مدل بیش از ۹۰٪ بود، هر سه مدل در عملکرد در طبقه‌ی مطلوب بودند. بر پایه‌ی نتایج این پژوهش دستورالعمل‌های بهینه‌سازی فراکاوشی زنبورعسل و ازدحام ذرات موجب افزایش کارایی و بهبود عملکرد مدل در تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی شد.

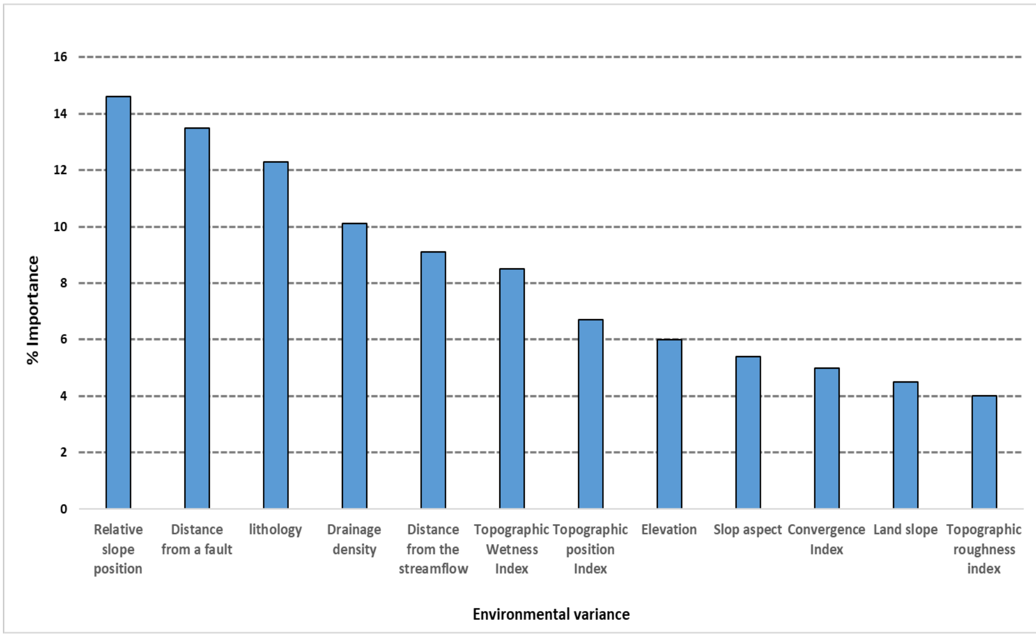
جدول ۲- دقت پیش‌بینی مدل‌ها براساس معیارهای ارزیابی عملکرد در مرحله‌ی اعتبارسنجی.

Table 2- Prediction accuracy of models based on performance evaluation criteria in the test.

Model	Area under the curve (AUC)
Support vector machine	0.918
Support vector machine and the bee metaheuristic optimization algorithm	0.932
Support vector machine and optimization algorithm of particle swarm optimization (SVM-PSO)	0.945

اندازه‌ی اهمیت عامل‌های زمین-محیطی

اندازه‌ی اهمیت عامل‌های محیطی براساس نتایج مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات (مدل برتر) در شکل ۶ نشان داده شده است. براساس پردازش اطلاعات مکانی، این مدل نشان داد که از میان عامل‌های محیطی مختلف، موقعیت شیب نسبی (۱۴/۵٪)، فاصله از گسل (۱۳/۴٪) و سنگ‌شناسی (۱۲/۳٪) بیشترین اهمیت را داشتند. عامل‌های تراکم زهکشی (۱/۲٪)، فاصله از جریان (۹/۱٪)، شاخص رطوبت پستی‌بلندی (۸/۶٪)، شاخص موقعیت پستی‌بلندی (۶/۷٪)، بلندی زمین (۶/۱٪) و جهت شیب (۵/۴٪) اهمیت متوسطی داشتند. براساس نتایج این پژوهش، شاخص همگرایی (۵/۱٪)، شیب زمین (۴/۵٪) و شاخص ناهمواری پستی‌بلندی (۴/۱٪) کمترین وزن و اهمیت را کسب کردند. ذکر این نکته ضروری است که توان آب زیرزمینی بسیار پیچیده بود و پیش‌بینی آن تنها با در نظر گرفتن طیف گسترده‌ای از عامل‌های محیطی امکان‌پذیر بود. بنابراین، اگرچه اهمیت برخی از عامل‌ها کم‌تر به‌دست‌آمد، اما به‌کارگیری آن‌ها می‌تواند اطلاعات مکانی ارزشمندی را در اختیار مدل قرار دهد.



شکل ۶- اندازه‌ی اهمیت عامل‌های محیطی براساس مدل SVM-PSO.

Figure 6- The importance of environmental factors based on the SVM-PSO model.

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌سازی توان آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از موضوع‌های مهم در پژوهش‌های منابع آب است. از آنجایی که در پژوهش‌های آب زیرزمینی داده‌های زیادی از متغیرهای پرشمار استفاده می‌شود، غالباً برای انجام بررسی‌های دقیق میدانی به نیروی انسانی و صرف هزینه بسیار زیاد نیاز است. در سال‌های اخیر، بیشتر به مدل‌سازی مبتنی بر رویکرد هوش مصنوعی توجه شده است. در این پژوهش، از مدل ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی مکانی توان آب زیرزمینی در سازندهای سخت استفاده شد. از سویی دیگر، از دستورالعمل‌های بهینه‌سازی برای بهبود عملکرد مدل استفاده شد. براساس نتایج این پژوهش، عملکرد مدل ماشین بردار پشتیبان زیاد بود. دو دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی زنبورعسل و فراکاوشی ازدحام ذرات موجب تقویت قدرت پیش‌بینی مدل شدند. در پژوهشی رحمتی و همکاران (۲۰۱۸) برای برآورد وضعیت توان آب زیرزمینی در آبخیز بجنورد از مدل هوش مصنوعی وایازی درختی استفاده

کردند. این پژوهشگران براساس معیار ارزیابی مساحت زیر منحنی راک، دقت پیش‌بینی مدل استفاده شده را ۹۰/۴٪ گزارش کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دقت مدل انفرادی ماشین بردار پشتیبان و دو مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی زنبورعسل (SVM-BA) و ماشین بردار پشتیبان و دستورالعمل بهینه‌سازی فراکاوشی ازدحام ذرات (SVM-PSO) در مقایسه با مدل استفاده‌شده در پژوهش رحمتی و همکاران (۲۰۱۸) بیشتر بود. در پژوهش دیگری که چوبین و ملکیان (۲۰۱۷) در آبخیز بجنورد انجام دادند، دقت مدل طبقه‌بندی و وایازی درختی در پیش‌بینی توان آب زیرزمینی ۸۸٪ تعیین شد. در پژوهش بین‌المللی که به‌وسیله‌ی ناهو و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیز بجنورد انجام شد از سه مدل آماری عامل قطعیت، وایازی پشتیبانی و مدل ترکیبی آن‌ها (عامل قطعیت-وایازی پشتیبانی) برای تهیه‌ی نقشه‌ی توان آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج این پژوهشگران نشان داد که دقت مدل‌های عامل قطعیت، وایازی پشتیبانی و مدل ترکیبی عامل قطعیت-وایازی پشتیبانی به‌ترتیب ۶۶/۷٪، ۷۸/۴٪ و ۸۴/۶٪ بود. از این رو، می‌توان گفت که قابلیت پیش‌بینی کنندگی مدل ماشین بردار پشتیبان و همچنین مدل‌های ترکیبی آن براساس دستورالعمل‌های فراکاوشی ازدحام ذرات و زنبورعسل از مدل‌های آماری مزبور به مراتب بیشتر است.

در رویکرد مدل‌های یادگیری ماشینی، نقش هر عامل محیطی براساس تحلیل‌های مدل‌سازی تعیین‌شده است و کارشناس در تعیین اندازه‌ی اهمیت آن نقشی ندارد. به‌عبارت دیگر، در یک مدل، ارتباط میان عامل‌های محیطی (متغیرهای مستقل) و چشمه‌های آب زیرزمینی (متغیر وابسته) براساس داده‌های ورودی مدل تعیین می‌شود و فرایند شکل‌گیری و رخداد یک پدیده مانند آب زیرزمینی بررسی می‌شود. در این پژوهش، چگونگی ارتباط بین عامل‌های محیطی و چشمه‌های آب زیرزمینی براساس مدل‌های یادگیری ماشینی و فنون هوش مصنوعی بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده بدون دخالت نظر کارشناسی بود. براساس نتایج این پژوهش، می‌توان با کاربرد مدل‌های یادگیری ماشینی ارتباط میان عامل‌های محیطی و آبدهی چشمه‌ها را شناسایی کرد. همچنین، می‌توان نقش داده‌های به‌کار برده‌شده را نیز تعیین کرد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، عامل موقعیت شیب نسبی به‌عنوان مهم‌ترین متغیر در وضعیت توان آب زیرزمینی شناسایی شد. این عامل نشان می‌دهد که هر پیکسل در چه موقعیتی از شیب یک دامنه (یال، قسمت فوقانی دامنه، وسط دامنه، قسمت تحتانی دامنه، یا انتهای دامنه) است. بنابراین، با استفاده از این متغیر می‌توان شرایط پستی‌بلندی سطح زمین، سطح آب زیرزمینی و احتمال انقطاع آن‌ها را برای ایجاد چشمه توصیف کرد، زیرا چشمه‌ها عموماً از تلاقی پستی‌بلندی سطح زمین و تراز آب زیرزمینی پدیدار می‌شوند. این یافته‌ی مهم با نتایج پژوهش رحمتی و همکاران (۲۰۱۸) که در همین آبخیز توان آب زیرزمینی با استفاده از مدل یادگیری ماشینی درخت وایازی لجستیک (LMT) را بررسی کردند، مطابقت دارد. در این پژوهش عامل فاصله از گسل نیز به‌عنوان دومین متغیر مهم تعیین شد. نتایج پژوهش نشان داد که گسل‌های منطقه‌ی مطالعه‌شده نقش مهمی در تغذیه‌ی بخش‌های زیرسطحی، ذخیره و جریان آب زیرزمینی داشتند. افزون بر نتایج مدل‌سازی، تحلیل‌های فضایی ارتباط بین لایه‌ی فاصله از گسل‌ها و توان آب زیرزمینی تأیید کرد که بخش‌هایی که در مجاورت گسل‌ها هستند، توان آب زیرزمینی بیشتری داشتند. در این پژوهش عامل سنگ‌شناسی به‌عنوان سومین متغیر مهم در شناسایی وضعیت توان آب زیرزمینی شناسایی شد. از آنجایی که خصوصیات واحدهای سنگ‌شناسی از مؤلفه‌های مهم در نفوذ، جریان و ذخیره آب زیرزمینی هستند، وجود این عامل در میان سه متغیر محیطی مهم کاملاً منطقی است. در این آبخیز تنوع واحدهای سنگ‌شناسی موجب پیچیدگی وضعیت توان آب زیرزمینی شد. ارتباط میان توان آب زیرزمینی و خصوصیات محیطی هر آبخیز اختصاصی است و باید براساس مدل‌سازی انجام شده در هر آبخیز وضعیت توان آب زیرزمینی آن آبخیز را بررسی کرد.

منابع آب زیرزمینی از اصلی‌ترین منابع آب قابل تکیه در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک است. مدل‌سازی توان آب زیرزمینی در سازندهای سخت مقرون به‌صرفه است و براساس اطلاعات آبدهی چشمه‌ها و لایه‌های رقومی مربوط به عامل‌های محیطی می‌توان اطلاعات مفیدی برای مدیریت منابع آب فراهم ساخت. در سال‌های اخیر به استفاده از دستورالعمل‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی توان آب زیرزمینی بسیار توجه شده است (فنگ و همکاران ۲۰۲۱). بدون بهره‌گیری از رویکرد مدل‌سازی، کارشناسان مجبور هستند برای تعیین توان آب زیرزمینی از روش حفاری و گمانه‌زنی استفاده کنند که بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است. براساس نقشه‌ی توان آب زیرزمینی به‌دست‌آمده از مدل‌سازی، برنامه‌ریزی آمایش سرزمین دقیق‌تر خواهد شد و موقعیت قرارگیری صنعت، کشاورزی و CI انسانی در یک آبخیز با کارایی بیشتری از لحاظ تأمین آب امکان‌پذیر خواهد بود. در این پژوهش، با پیشنهاد نقشه‌ی توان آب زیرزمینی، امکان برنامه‌ریزی و تدقیق آمایش سرزمین برای آبخیز بجنورد فراهم شد.

فهرست منابع

Choubin B, Malekian A. 2017. Combined gamma and M-test based ANN and ARIMA models for groundwater fluctuation forecasting in semiarid regions. Environmental Earth Sciences, 76:538. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6870-8.

Corsini A, Cervi F, Ronchetti F. 2009. Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: An application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). Geomorphology. 111(1-2): 79-87.

Dai FC, Lee CF, Li J, Xu ZW. 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. Environment Geology. 40(3): 381–391

Davoodi Moghaddam D, Rezaei M, Pourghasemi HR, Pourtaghie ZS, Pradhan B. 2013. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. Arabian Journal Geoscience. 8: 913-929. https://doi.org/10.1007/s12517-013-1161-5.

De Santa Olalla FM, Dominguez A, Ortega F, Artigao A, Fabeiro C. 2007. Bayesian networks in planning a large aquifer in Eastern Mancha, Spain. Environmental Modelling and Software. 22(8):1089–1100.

Deepa S, Venkateswaran S, Ayyandurai R. 2016. Groundwater recharges potential zones mapping in upper Manimuktha Sub basin Vellar River Tamil Nadu India using GIS and remote sensing techniques. Modeling Earth Systems and Environment, 2: 137. https://doi.org/10.1007/s40808-016-0192-9.

Devkota KC, Regmi AD, Pourghasemi HR, Yoshida K, Pradhan B, Ryu IC. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. Natural Hazards. 65(1):135–165.

Geroy IJ, Gribb MM, Marshall HP, Chandler DG, Benner SG, McNamara JP. 2011. Aspect influences on soil water retention and storage. Hydrology Processes. 25: 3836–3842.

Ghorbani Nejad S, Falah F, Daneshfar M, Haghizadeh A, Rahmati O. 2017. Delineation of groundwater potential zones using remote sensing and GIS-based data-driven models. Geocarto International. 32(2):167–187

Ghosh, S, Carranza EJM. 2010. Spatial analysis of mutual fault/fracture and slope controls on rock sliding in Darjeeling Himalaya, India. Geomorphology. 122: 1- 24.

Javhar A, Chen X, Jovid A, Yunus M, Jamshed A, Eldiiar D, Zulfiyor B. 2018. Evaluation of remote sensing techniques for lithological mapping in the southeastern pamir using landsat 8 OLI Data.International Journal of Geoinformatics.14(1): 1-10.

Kalantar B, Pradhan B, Naghibi SA, Motevalli A, Mansor S. 2017. Assessment of the effects of training data selection on the landslide susceptibility mapping: A comparison between support vector machine (SVM), logistic regression (LR) and artificial neural networks (ANN). Geomatics, Natural Hazards and Risk. 9:(1):49-69.DOI:-10.1080/19475705.2017.1407368.

Lee S, Kim JC, Jung HS, Lee MJ, Lee S. 2017. Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea.Geomatics, Natural Hazards and Risk. pp. 1-19.

Liu T, Yan H, Zhai L. 2015. Extract relevant features from DEM for groundwater potential mapping.The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.40(7): 113-119.

Manap MA, Nampak H, Pradhan B, Lee S, Sulaiman WNA, Ramli MF. 2014. Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. Arabian Journal Geoscience. 7(2):711–724.

Mosavi A, Hosseini FS, Choubin B, Goodarzi M, Dineva AA, Sardooi ER. 2021. Ensemble boosting and bagging based machine learning models for groundwater potential prediction.Water Resources Management.35(1):23-37.

Naghibi SA, Moghaddam DD, Kalantar B, Pradhan B, Kisi O. 2017. A comparative assessment of GIS-based data mining models and a novel ensemble model in groundwater well potential mapping. Journal of Hydrology. 548:471–483

Naghibi SA, Pourghasemi HR, Abbaspour K. 2018. A comparison between ten advanced and soft computing models for groundwater qanat potential assessment in Iran using R and GIS. Theor Appl Climatol. 131(3–4):967–984

Naghibi SA, Pourghasemi HR, Dixon B. 2016. GIS-based groundwater potential mapping using boosted regression tree, classification and regression tree, and random forest machine learning models in Iran.Environmental Monitoring and Assessment.188(1): 44. https://doi.org/10.1007/s10661-015-5049-6.

Nampak H, Pradhan B, Manap MA. 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. Journal of Hydrology. 513: 283-300.

Nhu V, Rahmati O, Falah F, Shojaei S, Ansari N, Shahabi H, Shirzadi A, Gorski K, Nguyen H, Ahmad B. 2020. Mapping of groundwater spring potential in karst aquifer system using novel ensemble bivariate and multivariate models. Water, 12(4):985;https://doi.org/10.3390/w12040985.

Ozdemir A. 2011. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). Journal of Hydrology. 405(1–2):123–136.

Pham BT, Jaafari A, Prakash I, Singh SK, Quoc NK, Bui DT. 2019. Hybrid computational intelligence models for groundwater potential mapping. Catena. 182 p. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104101.

Pham DT, Ghanbarzadeh A, Koç E, Otri S, Rahim S, Zaidi M. 2006. The bees algorithm—a novel tool for complex optimization problems. In Intelligent production machines and systems. Intelligent Production Machines and Systems. 2nd I*PROMS Virtual International Conference 3–14 July 2006. pp. 454-459.

Phong T, Pham B, Trinh P, Ly H, Vu Q, Ho L, Phong L, Le H, Avand M, Prakash I. 2021. Groundwater potential mapping using GIS-based hybrid artificial intelligence methods. Groundwater. 59(5):745-760.

Pourghasemi HR, Moradi HR, Fatemi Aghda SM, Gokceoglu C, Pradhan B. 2013. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). Arabian Journal Geoscience. 7: 1857-1878. doi:10.1007/ s12517-012-0825-x.

Pourghasemi HR. Beheshtirad M. 2015. Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran.Geocarto International.30(6):662-685.

Rahmati O, Melesse AM. 2016. Application of Dempster–Shafer theory, spatial analysis and remote sensing for groundwater potentiality and nitrate pollution analysis in the semi-arid region of Khuzestan, Iran. Science of Total Environment. 568: 1110–1123.

Rahmati O, Naghibi SA, Shahabi H, Bui DT, Pradhan B, Azareh A, Rafiei-Sardooi E, Samani AN, Melesse AM. 2018. Groundwater spring potential modelling: Comprising the capability and robustness of three different modeling approaches. Journal of Hydrology. 565:248-261.

Sachdeva S, Kumar B. 2021. Comparison of gradient boosted decision trees and random forest for groundwater potential mapping in Dholpur (Rajasthan), India.Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.35(2):287-306.

Shenga ZD, Baroková D, Šoltész A. 2018. Numerical modeling of groundwater to assess the impact of proposed rail way construction on groundwater regime. Pollack Periodica. 13(3): 187–196.

Tait NG, Davison RM, Leharne SA, Lerner DN. 2008. Borehole Optimization System (BOS): A case study assessing options for abstraction of urban groundwater in Nottingham, UK. Journal Environmental Modelling and Software. 23(5):611–621.

Thapa R, Gupta S, Guin S, Kaur H. 2017. Assessment of groundwater potential zones using multi-influencing factor (MIF) and GIS: a case study from Birbhum district, West Bengal. Applied Water Science. 7(7):4117-4131.

Thommeret N, Bailly JS, Puech C. 2009. Robust extraction of Thalwegs networks from DTMs for topological characterisation: a case study on badlands.Proceedings of Geomorphometry.31: 218-223.

Yao X, Tham LG, Dai FC. 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China. Geomorphology. 101(4):572-582.

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Modeling Groundwater Potential Using Machine Learning Models

Ahmad Salamat[1], Mojtaba Ardestani*[2], Bahram Malekmohammadi[3]

1- Ph.D. Student in Environmental Engineering, Water resources, Kish International Campus, University of Tehran
2- Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
3- Associate Professor, Faculty of Environment, University of Tehran

Extended Abstract

Introduction

Finding the potential of groundwater resources is one of the basic principles in water resources management. The aim of this research is to determine the potential of groundwater using support vector machine learning (SVM) models as well as metaheuristic algorithms (hybrid support vector machine model and the bee metaheuristic optimization algorithm (SVM-BA) and hybrid model of the support vector machine and particle swarm optimization algorithm (SVM-PSO).

Materials and methods

The factors of elevation, slope, aspect, topographic humidity index, distance from stream, drainage density, distance from fault, lithology, topographic position index, land roughness index, relative slope position and flow convergence index were selected in Bojnurd region. Information on the location of 359 springs was received from the regional water company. Random division algorithm was used to divide training points (70%) and validation points (30%). Based on the removal sensitivity analysis, the importance and contribution of the input variables in determining the groundwater potential were

Article Type: Research Article
***Corresponding Author E-mail:** Ardestan@ut.ac.it
Citation: Salamat, A., Ardestani, M., Malekmohammadi, B. 2023. Modeling Groundwater potential using machine learning models. Watershed Management Research. 36(4): 114-132.
DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360675.1506
Received: 23 November 2022, **Received in revised form:** 21 January 2023, **Accepted:** 19 March 2023, **Published online:** 22 December 2023
Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 114-132.
Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

determined. The accuracy of the models was evaluated in two stages of training and validation based on the receiver operating characteristic (ROC) curve method.

Results

The evaluation of the accuracy of the models based on the evaluation criteria of the area under curve (AUC) showed that the prediction accuracy of the hybrid model of the support vector machine and the particle swarm optimization algorithm (SVM-PSO) is 0.945 more than other models (SVM: 0.918 and SVM-BA: 0.932). Based on the results of the superior model, the high potential class and the very high potential class accounted for 7.75% and 38.66% of the area respectively. Among the factors, relative slope position with 14.5%, distance from the fault with 13.4% and lithology with 12.3% were the most important in predicting groundwater potential.

Discussion and Conclusion

Based on the results of this research, the support vector machine model has a high performance, and two optimization algorithms, the bee metaheuristic and particle swarm optimization algorithm, strengthen the predictive power of the model. Also machine learning models can identify the relationship between the environmental factors and the water supply of the springs and determine their role by using the available data. The relative slope position factor was identified as the most important variable and the distance from the fault factor was considered as the second most important variable in the present study. The results of the research showed that the faults in the region play an important role in aquifer recharge, storage and flow of groundwater. The lithological factor was also introduced by the model as the third important variable in identifying the state of groundwater potential. In this research, by presenting the groundwater potential map, it is possible to plan and verify land use planning for the Bojnurd watershed.

Key Words: Bojnurd, groundwater, machine learning, support vector machine

نام‌های داورانی که در این شماره با نشریه همکاری کردند:
(به‌ترتیب حروف الفبا)

آقابیگی‌امین، سهیلا
چوبین، بهرام
حبیبیان، سید محمدرضا
حزباوی، زینب
حقی‌آبی، امیرحمزه
خلیلی، داور
دسترنج، علی
دستورانی، محمد تقی
رجایی، فاطمه
رحمتی، امید
رستمی‌خلج، محمد
روستا، محمد جواد
زارع، محمد
زارعیان، غلامرضا
سلیمان‌پور، سید مسعود
شیدایی‌کرکج، اسماعیل
صوفی، مجید
عرفانی‌فرد، سید یوسف
فتاحی، بختیار
کاویان، عطاالله
کوثر، سید آهنگ
مصطفی‌زاده، رئوف
مصفایی، جمال

راهنمای نگارش مقاله برای نشریه‌ی پژوهش‌های آبخیزداری

نشریه‌ی علمی «پژوهش‌های آبخیزداری» استادان و متخصصان رشته‌های آبخیزداری و علوم مرتبط را به چاپ مقاله‌های ارزشمند خود دعوت می‌کند. هدف از انتشار این نشریه، فراهم نمودن جایگاهی برای انتشار یافته‌های پژوهش‌های علمی و فنی، و تبادل اطلاعات و نتیجه‌ی آنان میان استادان، دانشمندان و مهندسان ایرانی و جامعه‌ی علمی و حرفه‌یی ملی و بین -المللی است.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به این نشریه مجوز علمی داده است.

گستره‌ی مقاله‌ها

۱– مقاله‌های پژوهشی و اصیل به زبان فارسی نتیجه‌ی پژوهش‌های نویسنده یا نویسندگان، که در نشریه‌ی دیگری در داخل و خارج از کشور چاپ نشده باشد (بیشینه تا ۱۵ صفحه‌ی A۴).

۲– گزارش فنی به زبان فارسی (بیشینه تا ۵ صفحه‌ی A۴).

۳– نقد و بررسی مقاله‌های چاپ شده.

هزینه‌ی چاپ

هزینه‌ی چاپ مقاله در این نشریه چهار میلیون ریال است که بر اساس آیین نامه وزارت علوم تحقیقات و فناوری به شماره ۱۶۰۴۲ مورخ اول اردیبهشت ۱۴۰۰، در دو مرحله (پس از داوری و تأیید داوران مبنی بر قابلیت پذیرش، مبلغ دو میلیون ریال، و در هنگام چاپ مقاله، مبلغ دو میلیون ریال) دریافت می‌شود.

اگر قالب نگارش مقاله به‌درستی رعایت نشده باشد، مقاله بی‌آن‌که بررسی شود به نویسنده برگردانده می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود برای سرعت‌دادن به داوری و چاپ شدن مقاله‌تان، حتماً قالب آن‌را با دستورکار گفته‌شده تنظیم کنید.

شماره حساب: ۴۰۰۱۰۳۸۲۰۳۰۱۴۱۲۲ با شناسه‌ی واریز: ۳۹۳۰۳۸۲۵۸۱۴۰۱۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ و شماره‌ی شبا: IR۰۳۰۱۰۰۰۰۴۰۰۱۰۳۸۲۰۳۰۱۴۱۲۲ به نام: درآمد اختصاصی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نزد بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (قابل پرداخت در همه‌ی بانک‌ها)

تذکر مهم:

توصیه می شود در وارد کردن ترتیب و جایگاه نویسنده (نویسندگان) دقت زیادی به‌کار برده شود. در هیچ حالتی به جز موانع قانونی، امکان جابه‌جایی (حذف یا اضافه شدن نویسنده، تغییر یا جابه‌جایی نویسنده‌ی مسئول، یا تغییر در خود مقاله) پس از ثبت اولیه در تارنمای نشریه نیست، و پس از پذیرفته شدن، مقاله با مشخصه‌هایی که در تارنما ثبت شده است چاپ خواهد شد.

ساختار مقاله‌ها

۱– نام و نام خانوادگی، عنوان (جایگاه) سازمانی، نشانی، شماره‌ی تلفن و رایانامه‌ی نویسنده یا نویسندگان باید در صفحه‌یی جدا به‌همراه عنوان مقاله به فارسی و انگلیسی آورده شود. این صفحه باید در پرونده‌یی مستقل با نام «مشخصه‌های نویسندگان» در نرم‌افزار Word ذخیره و در صفحه‌خانه‌ی نشریه بارگذاری شود.

لطفاً توجه شود که این مشخصه‌ها در تارنمای نشریه نیز به‌درستی ثبت شود، زیرا مبنای چاپ، مشخصه‌های نوشته‌شده در تارنمای نشریه است.

۲– مقاله‌ها باید اجزای اصلی مقاله‌های پژوهشی (به‌ترتیب عنوان، چکیده‌ی فارسی، چکیده‌ی انگلیسی، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه گیری و پیشنهادهای کاربردی، و منابع) را داشته باشد.

۳. مقاله ها در نرم افزار ورد ۲۰۰۳ (یا تازه‌تر) به شکل تک‌ستونی نوشته شود.

اندازه‌ی صفحه: ۲۱۰ در ۲۹۷ میلی متر (A۴)

حاشیه: راست و چپ ۱/۵ سانتی‌متر، حاشیه‌ی بالا و پایین ۲ سانتی‌متر

فاصله‌ی سطرها: تک‌فاصله (Single)

قلم ها:

متن فارسی اصل و چکیده‌ی مقاله: B Nazanin ۱۲

عنوان فارسی مقاله: B Nazanin Bold ۱۵ (وسط‌چین)

عنوان انگلیسی مقاله: Times New Roman Bold ۱۴ (وسط‌چین)

نام‌های نویسندگان در فارسی: B Nazanin Bold ۱۱ (وسط‌چین)

نام‌های نویسندگان در انگلیسی:Times New Roman

۱۰ (وسط‌چین)
واژه‌های کلیدی فارسی: B Nazanin ۱۱
متن چکیده‌ی انگلیسی:Times New Roman ۱۱
واژه‌های کلیدی انگلیسی: Times New Roman ۱۰
عنوان بخش‌های مختلف مقاله: B Nazanin Bold ۱۲
کلمه Abstract و Keywords در چکیده انگلیسی: Times New Roman Bold ۱۱
عنوان جدول‌ها و شکل‌ها: B Nazanin Bold ۱۱ (وسط‌چین)
واژه‌ها و عددهای درون جدول‌ها و شکل‌ها: B Nazanin ۱۰
منابع:Times New Roman ۱۰

۴- شـکل‌ها و جدول‌ها باید به‌ترتیبی که در متن به آن‌ها اشاره شده است شماره‌گذاری و جا داده شود. عنوان جدول‌ها در بالای آن‌ها، و عنوان شـکل‌ها در زیر آن‌ها وسـط‌چین نوشـته شود. همه‌ی نوشتار روی شکل‌ها و جدول‌ها باید به فارسی باشد.
۵- همـه‌ی رابطه‌های ریاضی باید در سـامانه‌ی رابطه‌نویسـی Word: Microsoft Equation نگاشـته و به‌ترتیب شماره گذاری شـود. رابطه‌های ریاضی از سـوی چپ سطر نوشته و در سوی راست سطر شماره‌گذاری شود.
نمونه:

$$e=MC2 \quad (۱)$$

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 فارسـی و انگلیسـی به ترتیب حروف الفبای فارسی و انگلیسی باشد.
۹- زیرنویـس به‌کار نبرید. اگر لازم اسـت شـکل کامل واژه‌یی انگلیسی را در زیرنویس بیاورید، زیرنویس‌ها باید از آغاز تا پایان متن پیوسـته (continuous) شماره زده باشد. نام نویسندگان خارجی را در زیرنویس نیاورید.

بخش‌های مقاله

به‌ترتیب: عنوان فارسـی، چکیده‌ی فارسـی، واژه های کلیدی فارسـی، عنوان انگلیسی، چکیده انگلیسـی، واژه های کلیدی انگلیسـی، مقدمه، مواد و روش هـا، نتایج و بحث، نتیجه گیری و پیشنهادهای کاربردی، سپاس‌گزاری (اختیاری)، و منابع.

چکیده

خلاصه‌یی از هدف و روش اصلی پژوهش و نتایج کلی به‌دست آمده از آن در بیشـینه ۲۰۰ واژه به فارسـی و انگلیسی. متن چکیده انگلیسی باید کاملاً با چکیده فارسی یکسان باشد.

واژه های کلیدی

سـه تا شـش واژه‌ی کلیدی به زبان فارسـی و انگلیسی (به ترتیب حروف الفبای فارسـی و انگلیسـی) در انتهای چکیده آورده شود.

مقدمه

ایـن بخش بـرای نشـان دادن ارزش و اهمیـت پژوهش و سمت‌وسو دادن به ذهن خواننده، به معرفی موضوع پژوهش، بررسـی تحلیلی نوشته های پژوهشـی مرتبط، و مروری بر کارهای انجام شده‌ی پژوهشگران دیگر در آن زمینه همراه با ارجاع‌های لازم، می‌پردازد. در انتهای مقدمه لازم است هدف (هدف های) انجام تحقیق، به‌روشنی بازگو شوند.

مواد و روش ها

شـرح کامل روش پژوهش و شیوه انجام آزمایش ها همراه با جدول ها و شـکل ها و توضیح‌های مربـوط به آن‌ها در این بخش می آیند. مراحل مختلف انجام تحقیق باید پشت‌سرهم و سلسله‌مراتبی آورده شوند.
در صـورت نیاز مـی توان در آغاز بخش مـواد و روش ها در زیرعنـوان «منطقه‌ی پژوهش» یـا «جایگاه پژوهش» محل جغرافیایی انجام پژوهش را معرفی کرد، و سـپس شرح کامل روش‌ها را در زیرعنوان «روش پژوهش» آورد.

نتایج

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش های انجام شده در پژوهش، با تأکید بر یافته های جدید آورده می‌شوند.

بحث و نتیجه گیری

تفسـیر و بحث درباره‌ی نتایج به‌دست آمده و نتیجه گیری و جمع بندی یافته ها با تأکید بر مقایسه با پژوهش های مشابه، و تحلیـل علمی نتایج به‌دسـت آمده و دادن پیشـنهادهای کاربردی.

سپاس‌گزاری

نویسنده (نویسـندگان) می توانند (در صورت تمایل) در این قسمت از سازمان ها، دانشگاه ها، و یا افرادی که در انجام این پژوهش او (ایشان) را یاری کرده اند تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

همه منابع مورد استفاده باید در متن مقاله با نام نویسنده(گان)، به زبان فارسی، و با ذکر تاریخ منبع مورد استفاده، در داخل علامت دو کمان () نوشته شوند. مانند: کوثر (۲۰۱۵)، و یا تامسون و همکاران (۲۰۱۷). اگر منبع استفاده‌شده 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 به‌ترتیب 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 ویراستِ هفتمِ کتاب مرجع آنان به نام روش و قالب علمی: دستورکار سی‌اس‌ای برای نویسندگان، ویراستاران و ناشران (۲۰۰۶) و با انتخاب روش نام–سالِ سی‌اس‌ای است.

۱. ارجاع به منبع را با آوردن نام(های) نویسنده(گان) و پس از آن سال انتشارِ 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. کارِ انجام شده بیش از دو نویسنده: نام نویسنده‌ی اصلی، سپس عبارتِ "و همکاران" و بعد تاریخ را بنویسید.

(هاگیهارا و همکاران، ۲۰۱۳)

۴. بیش از دو کارِ انجام شده یک نویسنده: نام نویسنده و سپس تاریخ‌ها را به‌ترتیبِ 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 کارِ انجام شده یک نویسنده در یک سال: برای تمایز میان منابعِ 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 به‌جای نویسنده منتشر کرده است: نام سازمان یا گروه را پیش از تاریخ چاپ بنویسید.

اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به‌تازگی 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 به‌تازگی 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.

تذکرهای 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 عنوانِ 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 دونقطه (:)، 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 (خط اِن) – به‌جای 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 mthodologies 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.

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

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)