



پژوهش‌های آبخیزداری

۱۴۹

دوره ۳۸، شماره ۴

شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴

- ارزیابی وضعیت شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک‌های آهکی در کاربری‌های گوناگون در مناطق مرکزی و شمالی استان فارس
زهرا زارعی، سید علی اکبر موسوی، مهدی زارعی، محمدمبین نعمت‌اللهی..... ۱
- شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی داده‌کاوی و الگوریتم ژنتیک NSGA-II در آبخوان شمیل-آشکارا، استان هرمزگان
حمید غلامی، مجتبی محمدی، مریم زارع، حوریه زحمتکش کارمی، آرش جمشیدی..... ۲۳
- تحلیل گروه‌های مشارکتی در بستر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آبخیز بنچله استان کرمانشاه
عادل سلطانی، رضا قضاوی، سیامک دخانی..... ۵۳
- شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری آبخیز سد سنا، استان بوشهر
علی جعفری، پرویز بیات..... ۷۲
- بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های غرب آبخیز مهارلو و تأثیر آن‌ها بر فرسایش و حفاظت خاک
حمید حسینی مرنودی، سید مسعود سلیمان پور، مریم عنایتی، ابوالحسن مقیمی، حمیدرضا پیروان..... ۸۸
- پیش‌بینی مکانی استعداد سیل‌گیری آبخیز زرينه‌رود با استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده
فرنوش محمدی، عارف بهمنی..... ۱۰۸
- تحلیل فراوانی رخداد‌های گرد و غبار شمال دریاچه ارومیه بر پایه تصویرهای سنجش از دور و الگوریتم MAIAC
مریم فتحی، حسام احمدی بیرگانی..... ۱۲۸
- تحلیل آثار فرسایش آبی بر ویژگی‌های خاک و ساختار میکروبی در آبخیز سراسرو شهرستان خاش
مرتضی صابری، وحید کریمیان، محمدرضا دهمرده قلعه‌نو، رسول خطیبی، مهدی سرپرست..... ۱۴۶

نشریه علمی "پژوهش‌های آبخیزداری"

صاحب امتیاز: سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴

درجه علمی پژوهشی این نشریه به استناد نامه شماره ۳/۱۸/۱۹۲۹۱۶ به تاریخ ۱۳۹۶/۰۸/۲۲ مورد تأیید وزارت علوم، تحقیقات و فناوری قرار گرفته است. همچنین این نشریه دارای پروانه انتشار به شماره ۱۶۱۹۹ مورخ ۱۴۰۰/۰۴/۲۸ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی می‌باشد.

مدیر مسئول: ابوالفتح مرادی، استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان

تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

سردبیر: علی اکبر نوروزی، استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی سازمان تحقیقات آموزش و

ترویج کشاورزی، تهران، ایران

اعضای هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

امیر حمزه حقی آبی، استاد گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان

داور خلیلی، استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

محمدتقی دستورانی، استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

محمد زارع، استاد بخش علوم زمین دانشکده علوم دانشگاه شیراز

سیدمسعود سلیمان پور، دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس،

سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

مجید صوفی، دانشیار بازنشسته بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس،

سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

سیدیوسف عرفانی فرد، دانشیار گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران

عطا الله کاویان، استاد گروه آبخیزداری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

علی اکبر نوروزی، استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران

مدیر داخلی: سید مسعود سلیمان پور، دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

ویراستار و کارشناس اداری: مریم عنایتی، کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و

منابع طبیعی استان فارس سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

کارشناس آماری: لادن جوکار، مربی بازنشسته مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس سازمان تحقیقات آموزش و ترویج

کشاورزی شیراز، ایران

صفحه آرا: پارسا حقیقی، کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

فارس سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

این نشریه در پایگاه‌های استنادی علوم جهان اسلام (ISC) با ISSN ۲۰۳۸-۲۹۸۱ به نشانی <https://isc.gov.ir>، نظام نمایه سازی

مرکز منطقه‌ای اطلاع رسانی علوم و فناوری (RICeST) به نشانی <https://ricest.ac.ir> ایران ژورنال www.sid.ir

و www.magiran.com نمایه می‌شود.

نشریه در رد ویرایش نوشته‌ها و یا خلاصه کردن آنها آزاد است.

استفاده از تصویرهای نشریه با ارجاع به نشریه آزاد است.

نشانی: شیراز بلوار، مدرس خیابان جانبازان نبش استاد مردانی غربی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، دفتر نشریه

پژوهش‌های آبخیزداری

صندوق پستی: ۶۱۷-۷۱۵۵۵

دورنگار: ۳۷۲۰۶۳۷۶ (۰۷۱)

رایانامه: wmrj@areeo.ac.ir

کدپستی: ۶۳۵۱۱-۷۱۵۵۸

تلفن: ۳۷۲۰۴۹۵۹ (۰۷۱) داخلی - ۲۲۴

تارنما: <http://wmrj.areeo.ac.ir>



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآخذ تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

فهرست

شماره ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴

ارزیابی وضعیت شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک‌های آهکی در کاربری‌های گوناگون در مناطق مرکزی و شمالی استان فارس

زهرا زارعی، سید علی اکبر موسوی، مهدی زارعی، محمدامین نعمت‌اللهی ۱

شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی داده‌کاوی و الگوریتم ژنتیک NSGA-II در آبخوان شمیل - آشکارا، استان هرمزگان

حمید غلامی، مجتبی محمدی، مریم زارع، حوریه زحمتکش کارمی، آرش جمشیدی ۲۳

تحلیل گروه‌های مشارکتی در بستر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آبخیز بنچله استان کرمانشاه

عادل سلطانی، رضا قضاوی، سیامک دخانی ۵۳

شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری آبخیز سد سنا، استان بوشهر

علی جعفری، پرویز بیات ۷۲

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های غرب آبخیز مهارلو و تأثیر آن‌ها بر فرسایش و حفاظت خاک

حمید حسینی مرندی، سید مسعود سلیمان پور، مریم عنایتی، ابوالحسن مقیمی، حمیدرضا پیروان ۸۸

پیش‌بینی مکانی استعداد سیل‌گیری آبخیز زرینه‌رود با استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده

فرنوش محمدی، عارف بهمنی ۱۰۸

تحلیل فراوانی رخداد‌های گرد و غبار شمال دریاچه ارومیه بر پایه تصویرهای سنجش از دور و الگوریتم MAIAC

مریم فتحی، حسام احمدی بیرگانی ۱۲۸

تحلیل آثار فرسایش آبی بر ویژگی‌های خاک و ساختار میکروبی در آبخیز سرسارو شهرستان خاش

مرتضی صابری، وحید کریمیان، محمدرضا دهمرده قلعه‌نو، رسول خطیبی، مهدی سرپرست ۱۴۶



مرکز تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مرکز تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

ارزیابی وضعیت شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک‌های آهکی در کاربری‌های گوناگون در مناطق مرکزی و شمالی استان فارس

زهره زارعی^۱، سید علی اکبر موسوی^{۲*}، مهدی زارعی^۳، محمدامین نعمت‌اللهی^۴

۱- دانشجوی دکتری بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲ و ۳- استاد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۴- دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

مدیریت و تغییر کاربری زمین‌ها بر وضعیت خاک و شاخص‌های مرتبط از جمله اندازه و کیفیت حاصلخیزی خاک و زیست‌توده و تنفس میکروبی خاک تأثیرگذار است. به دلیل به‌کارگیری روش‌های گوناگون مدیریتی و استفاده از زمین‌ها، اندازه‌های متفاوتی از بقایای گیاهی و با کیفیت متفاوت، تولید می‌شود که تنوع ویژگی‌های این بقایای گیاهی بر ترکیب، عملکرد جامعه‌های میکروبی خاک، شاخص‌های مختلف زیستی، حاصلخیزی خاک و کیفیت خاک‌ها، تأثیرگذار است. از سوی دیگر، تغییر کاربری زمین‌ها بر ویژگی‌های مختلف خاک، کیفیت خاک و شاخص‌های مربوطه نیز تأثیرگذار است. در این راستا، بر پایه نتایج پژوهش‌های مدون، اثر نوع کاربری زمین بر وضعیت شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک در خاک‌های آهکی استان فارس، بررسی نشده است و انجام چنین پژوهشی ضروری است. از این رو، این پژوهش با هدف ارزیابی وضعیت برخی شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی در خاک‌های آهکی در کاربری‌های مختلف زمین در بخشی از استان فارس انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از خاک ۳۰۰ نقطه مد نظر در شهرستان‌های مرکزی و نیمه شمالی استان فارس نمونه‌برداری شد. این نمونه‌ها در فاصله زمانی اردیبهشت تا تیرماه ۱۳۹۸ و از ژرفای صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در چهار کاربری زمین شامل کاربری‌های جنگل، کشاورزی، مرتع قوی و مرتع ضعیف، جمع‌آوری شدند. نمونه‌های برداشت‌شده از هر یک از نقاط، درون کیسه پلاستیکی انتقال یافت و بعد از برچسب‌گذاری به آزمایشگاه ارسال شد. سپس، برای تجزیه شیمیایی و اندازه‌گیری ویژگی‌های مد نظر، هوا خشک‌شده و از الک با قطر سوراخ‌های دو میلی‌متری عبور داده شدند.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: aamousavi@gmail.com

استناد: زارعی، ز.، موسوی، س.، ع.، ا.، زارعی، م.، نعمت‌اللهی، م.، ا. ۱۴۰۴. ارزیابی وضعیت شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک‌های آهکی در کاربری‌های گوناگون در مناطق مرکزی و شمالی استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۴): ۱-۲۲.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.369171.1619

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴ دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱ تا ۲۲.

© نویسنده‌گان

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



افزون بر این، در این نمونه‌ها، برخی شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک شامل ماده آلی، عناصر کم‌مصرف و تنفس میکروبی پایه خاک با استفاده از روش‌های استاندارد متداول اندازه‌گیری شدند. در این پژوهش، بهنجار بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. تجزیه و تحلیل آماری پراکنش یک‌طرفه (ANOVA) داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای ارزیابی معنی‌داری تفاوت میانگین اندازه‌های ویژگی‌های خاکی مطالعه‌شده در میان کاربری‌های مد نظر، مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد تفاوت اندازه شاخص‌های منگنز، مس، آهن، ماده آلی و تنفس میکروبی پایه خاک در میان کاربری‌های مطالعه‌شده معنی‌دار بود. شاخص‌های مربوط به اندازه عناصر آهن، مس، روی، سدیم، ماده آلی و تنفس میکروبی در زمین‌های کشاورزی بیشتر از زمین‌های مراتع ضعیف بود. دلیل این یافته مصرف کودهای شیمیایی در این زمین‌ها بود. همچنین، در زمین‌های با پوشش گیاهی خوب، اندازه‌های ماده آلی و عناصر کم‌مصرف به دلیل بازگشت بیشتر مواد آلی به خاک و افزایش سرعت تجزیه مواد آلی بیشتر بود. همچنین، در خاک‌های کشاورزی به دلیل ترشح اسیدهای آلی از ریشه گیاه و تشکیل کلات با عناصر کم‌مصرف در خاک، حلالیت و شکل قابل جذب این عناصر در خاک افزایش یافت. در زمین‌های جنگلی با ریزش شاخ و برگ گیاه، مواد آلی بیشتری در خاک ذخیره شد. در حالی که در دیگر کاربری‌ها اندازه برگشت ماده آلی به خاک بسیار کمتر بود. به بیان دیگر، این تغییر در اندازه ماده آلی در کاربری‌های مختلف به اندازه ورودی و برداشت ماده آلی در هر کاربری مرتبط بود، به طوری که در زمین‌های جنگلی اندازه ورود مواد آلی به خاک زیاد و اندازه برداشت (خروج) آن کمتر بود. بیشترین اندازه ماده آلی (۳/۴۵٪) در خاک‌های جنگلی و کمترین اندازه ماده آلی (۱/۶۴٪) در زمین‌های مرتعی با پوشش گیاهی ضعیف مشاهده شد. این یافته نشان‌دهنده توان بیشتر زمین‌های جنگلی برای ترسیب کربن در مقایسه با زمین‌های دیگر کاربری‌های مطالعه‌شده بود. همچنین، بیشترین اندازه تنفس میکروبی خاک در کاربری‌های کشاورزی (۲۰/۱۰ میلی گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) و جنگل (۲۰/۰۲ میلی گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) و کمترین اندازه تنفس خاک در خاک‌های مراتع ضعیف (۱۲/۴۰ میلی گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) مشاهده شد که تابع الگوی تغییرات مواد آلی بود. تنفس خاک یکی از ویژگی‌های وابسته به اقلیم است و مواد آلی زیاد، افزودن مواد آلی جدید، تنوع و فراوانی ریزجانداران سبب افزایش آن می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج بررسی شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک در کاربری‌های مختلف مطالعه‌شده نشان داد که نوع و تغییر کاربری زمین و در نتیجه تغییر شرایط یا شیوه مدیریت زمین و عملیات مدیریتی بر شاخص‌های مختلف مرتبط با وضعیت زیستی و حاصلخیزی خاک، به طور معنی‌داری اثرگذار بود. از این رو، بی‌توجهی به نوع زمین می‌تواند در کوتاه‌مدت سبب کاهش عملکرد و سرانجام در درازمدت سبب از دست رفتن بهره‌دهی منابع طبیعی شود. بر اساس نتایج این پژوهش، زمین‌های مراتع ضعیف در مقایسه با دیگر کاربری‌ها نیازمند برنامه‌های مدیریتی ویژه‌تر و مدون‌تر برای احیا، جلوگیری از روند نابودی، کاهش حاصلخیزی و کیفیت زیستی و بازگشت توان بالقوه خاک، می‌باشند. در این راستا، پیشنهاد می‌شود پایش جدی و مداوم زمین‌های آسیب‌پذیر، برای بررسی توان بالقوه حاصلخیزی و باروری خاک انجام شود و روند رو به کاهش و سرعت از دست رفتن قدرت تولید سنجیده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود همراه با اجرای برنامه‌های هماهنگ و مدون با آگاهی بخشی به مردم، از نیروهای مردمی برای حفاظت از زمین‌ها بهره‌گرفته شود.

واژگان کلیدی

تنفس خاک، عناصر کم‌مصرف، کاربری زمین، ماده آلی، مدیریت زمین، ویژگی‌های زیستی

مقدمه

بخش گسترده‌ای از کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. از سوی دیگر، شیوه‌های نادرست مدیریتی و فعالیت‌های نادرست کشاورزی مانند شیوه‌های ناصحیح آبیاری و مدیریت نامطلوب زمین‌ها می‌تواند منجر به نابودی گسترده و شدید خاک شود. تغییر کاربری زمین، به‌شدت بوم‌نظام‌ها را تغییر می‌دهد و پیامدهای منفی این تغییرات گاهی تا دهها سال قابل جبران نخواهد بود (همیلتون و کازی ۲۰۱۶). ونکر و همکاران گزارش کردند دخالت‌های انسانی با تغییر کاربری زمین و فعالیت‌های کشاورزی و ساختمانی می‌تواند سبب افزایش سرعت فرسایش و نابودی زمین‌ها شود (۲۰۱۹). نتایج پژوهش‌ها بیانگر آن است که تغییر کاربری زمین سبب تغییر ویژگی‌های شیمیایی و وضعیت عناصر (زاهدی‌فر ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰؛ بوستانی و همکاران ۲۰۱۹؛ اولیایی و همکاران ۲۰۲۲، ۲۰۲۳)، ویژگی‌های فیزیکی (آکیده و همکاران ۲۰۲۰؛ مظفری و همکاران ۲۰۱۹)، زیستی (اولیایی و همکاران ۲۰۲۳؛ کوچ و همکاران ۲۰۲۴) و ویژگی‌های آبی (مظفری و همکاران ۲۰۲۱، ۲۰۲۲) خاک می‌شود. این موضوع می‌تواند بر فرسایش و نابودی خاک و شاخص‌های مربوطه اثرگذار باشد (زاهدی‌فر ۲۰۲۳ الف و ب). نتایج پژوهش جعفریان و کرمی (۲۰۲۲) نشان داد سطح گسترده‌ای از زمین‌های جنگل زاگرس در دو دهه گذشته به زمین‌های غیرجنگلی مانند زمین‌های کشاورزی و مرتع تبدیل شده‌اند که نشان‌دهنده وضعیت نامناسب حفاظت از منطقه نامبرده است. نابودی و تبدیل زمین‌های جنگلی به کشاورزی، نابودی زمین‌های با پوشش طبیعی و فرسایش خاک را به‌همراه دارد (فلاح‌تکار ۲۰۱۶). رعایت نکردن اصول بوم‌شناختی، افزایش رشد جمعیت، مشکلات اقتصادی اجتماعی جنگل‌نشینان ازجمله دلایل کاهش جنگل‌ها و مراتع و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی است (حیدری‌زاده و محمدی ۲۰۱۵). خسروی و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی ویژگی‌های نابودی خاک در شهرستان خاتم گزارش کردند بیشترین شاخص‌های مرتبط با نابودی

در زمین‌های مرتعی به‌دلیل مدیریت ناصحیح مشاهده شد. الگوهای کاربری زمین افزون بر اندازه و کیفیت عناصر غذایی خاک، بر زیست‌توده و تنفس میکروبی خاک نیز تأثیرگذارند (کوچ و همکاران ۲۰۲۴). انواع مختلف کشت و مدیریت زمین، اندازه‌های متفاوتی از بقایای گیاهی و با کیفیت متفاوت، تولید می‌کند که تنوع ویژگی‌های این بقایای گیاهی بر ترکیب، عملکرد جامعه‌های میکروبی خاک، شاخص‌های مختلف زیستی، حاصلخیزی خاک و کیفیت خاک‌ها، تأثیرگذار است. به‌دلیل اهمیت زیاد جامعه‌های میکروبی در فرایندهای خاک، شدت فعالیت این موجودات، شاخص مناسبی برای ارزیابی محیط خاک به‌شمار می‌آید (کمالی و همکاران ۲۰۲۰). فعالیت‌های میکروبی خاک در سلامت و پایداری زیست‌بوم حائز اهمیت هستند. زیرا، بر تأمین مواد غذایی برای گیاه، تجزیه لاشبرگ، تنظیمات کربن خاک و بسیاری از ویژگی‌های زنده و غیرزنده زیست‌بوم، مؤثر هستند (ونگ و همکاران ۲۰۱۶). ویژگی‌های زیستی در رویشگاه‌های مختلف تحت تأثیر سنجه‌های زیادی ازجمله نوع پوشش گیاهی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نوع مدیریت هستند (سهرابی و همکاران ۲۰۲۲). همزمان با تغییر اندازه و کیفیت مواد آلی ورودی، رطوبت، دمای خاک، تنوع ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، زیستی و موجودات خاکزی خاک نیز تغییر می‌کند که این تغییرات نیز بر چرخه زیست‌زمین‌شیمیایی عناصر غذایی در انواع مختلف پوشش گیاهی تأثیرگذار است. ازاین‌رو، ویژگی‌های خاک در یک رویشگاه، تحت تأثیر انواع مختلف پوشش گیاهی آن است (مولیا و همکاران ۲۰۲۱). در هیمالیا، شانکر و گراکوتی (۲۰۲۴) تأثیر انواع کاربری زمین بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک جنگل و سامانه‌های کشاورزی را بررسی کردند و گزارش کردند بیشترین تأثیر بر عناصر غذایی خاک و زیست‌توده میکروبی در مقایسه با توسکا، کاج و بلوط مربوط به بوم‌سازگان‌های کشاورزی بود. نتایج پژوهش سعیدی و همکاران (۲۰۲۳) بیانگر حساسیت شاخص‌های میکروبی خاک به تغییرات کاربری زمین بود. نتایج این پژوهش نشان داد تغییر کاربری

برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در این مناطق است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی وضعیت برخی ویژگی‌های زیستی و حاصلخیزی در خاک‌های آهکی با کاربری‌های مختلف زمین در بخشی از استان فارس که یکی از استان‌های مهم کشاورزی ایران و از پیشگامان تولید غلات (از جمله گندم و جو) می‌باشد، انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در بخش‌های مرکز و نیمه شمالی استان فارس در جنوب غرب ایران است. میانگین دمای سالانه منطقه مطالعه‌شده ۱۹/۴ درجه سانتی‌گراد و اندازه بارش آن ۴۴/۷ تا ۲۸۹/۸ میلی‌متر است. میانگین بلندمدت بارش سالانه نیز ۹۴/۵ میلی‌متر است (شکل ۱). این استان سه بخش اقلیمی دارد که شامل: الف) مناطق مرکزی با تابستان گرم و خشک و زمستان معتدل و با پوشش گیاهی شیرین‌بیان، خارشتر، چوبک، کنگر شیرازی، بومادران و جاشیر، ب) مناطق شمالی و شمال غرب با آب و هوای کوهستانی همراه با باران و برف فراوان و جنگل‌های تنک عمدتاً با گونه‌های بادام، پسته، انجیر و سرو کوهی، ارژن، کنار، زالزالک و کیالک، ج) جنوب و جنوب شرقی با تابستان بسیار گرم و زمستان معتدل و با پوشش گیاهی گون، درمنه، گز، شیرین‌بیان و اسفند. بیشتر مناطق شور استان در این بخش است (حاتمی و همکاران ۲۰۱۷). مساحت کل جنگل‌ها و مراتع ۹۸۰۳۲۷۳ مترمربع است که ۸۶۰۰۰۰ مترمربع آن شامل مراتع استپی، نیمه‌استپی و نیمه‌بیابانی، کوه‌های مرتفع، جنگل‌های خشک و مراتع شور است. زمین‌های کشاورزی آن نیز به‌طور عمده تحت کشت گندم و جو است.

زمین‌های مرتعی به کشاورزی با شکستن خاکدانه‌های خاک، سرعت تجزیه مواد آلی را افزایش داد و ذخیره‌سازی عناصر غذایی، جمعیت، نوع و فعالیت میکروبی خاک را کاهش داد. نتایج پژوهش‌های کوچ و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد بیشترین اندازه پایداری خاکدانه، محتوای رس، pH، نیتروژن، فسفر، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، جمعیت باکتری و مشخصات میکروبی به‌ترتیب در خاک با پوشش‌های گیاهی چوبی لور، ولیک و زرشک مشاهده شد. نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد تغییر کاربری زمین‌ها موجب هدررفت قابل‌توجه کربن آلی کل شد و کاهش اندازه ماده آلی در کاربری کشاورزی موجب کاهش قابل‌توجه کربن زیست‌توده میکروبی در مقایسه با دیگر ویژگی‌ها شد که می‌توان آن را یک شاخص مهم در ارزیابی تغییرات کربن آلی و نابودی شیمیایی و زیستی خاک دانست. با استفاده از شاخص‌های زیستی‌فیزیکی مرتع می‌توان اطلاعات سودمند زیادی را برای ارزیابی و مدیریت مرتع به‌دست آورد. استفاده از این اطلاعات نیز منجر به مدیریت صحیح و پایدار شده و احیا و حفاظت منابع زیست‌محیطی را در پی خواهد داشت (کینگ و همکاران ۲۰۰۴). در پژوهشی مشخص شد تغییر کاربری زمین تأثیر زیادی بر ویژگی‌های مختلف خاک و اندازه حساسیت خاک به فرسایش و نابودی و شاخص‌های مربوطه داشت. از آنجایی که یکی از پیش‌نیازهای مدیریت پایدار زمین، ارزیابی دقیق و صحیح وضعیت خاک و پوشش گیاهی این بوم‌سازگان است، نابودی آن‌ها، سبب ناپایداری و ناسلامتی زمین‌ها خواهد شد. از این‌رو، با انتخاب شاخص‌های دقیق و با کاربرد آسان می‌توان با شیوه‌ای صحیح پایداری بوم‌شناختی را سنجید و در راستای رسیدن به توسعه پایدار در کاربری‌های مختلف گام نهاد. در این راستا، بر پایه نتایج پژوهش‌های مدون، اثر نوع کاربری زمین بر وضعیت شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک در خاک‌های آهکی استان فارس، بررسی‌نشده است و کسب آگاهی از انواع استفاده از زمین‌ها و تغییرات آن از منظر ویژگی‌های زیستی و حاصلخیزی خاک در طول زمان از مقدمات مهم

روش پژوهش

در این پژوهش، از خاک ۳۰۰ نقطه مد نظر در شهرستان‌های مرکزی و نیمه شمالی استان فارس (شامل آباده، اقلید، خرم‌بید، بوانات، پاسارگاد، مرودشت، سپیدان، رستم، ممسنی، کازرون، شیراز، مرودشت، ارسنجان، زرقان و کوار) نمونه‌برداری شد. این نمونه‌ها در فاصله زمانی اردیبهشت تا تیرماه ۱۳۹۸ و از ژرفا صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در چهار کاربری زمین‌های جنگل، کشاورزی، مرتع قوی و مرتع ضعیف، جمع‌آوری شدند. قوی و ضعیف بودن مراتع بر اساس اندازه پوشش گیاهی تعیین شد. به‌طوری‌که مراتع با کمتر از ۲۰٪ پوشش گیاهی مراتع ضعیف و مراتع با پوشش گیاهی بیشتر از ۶۰٪ مراتع قوی در نظر گرفته شدند (کریمی ۲۰۱۳). در مرحله اول بررسی و تعیین درصد پوشش گیاهی، به‌شکل چشمی عمل شد. در مرحله بعد از یک قطعه یک در یک متر که به‌طور تصادفی در سه نقطه از زمین‌هایی با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع تعیین شدند، استفاده شد (افتخاری و همکاران ۲۰۲۴). در شرایطی که میانگین پوشش گیاهی در این زمین‌ها کمتر از ۲۰٪ و یا بیشتر از ۶۰٪ بود، نمونه‌برداری انجام شد. در حقیقت استفاده از قطعه برای تأیید یا رد برآورد چشمی انجام شد. نقشه منطقه مطالعه‌شده و محل‌های نمونه‌برداری‌شده در شکل ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است به‌دلیل اینکه هدف این پژوهش بررسی اثر کاربری‌های نامبرده بر ویژگی‌های خاک سطحی و بخشی از خاک در ارتباط با فعالیت‌های غالب ریشه گیاه و ریزجانداران و فعالیت‌های مدیریتی بود، از این‌رو از لایه سطحی ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. برای نمونه‌برداری خاک از هر یک از ۳۰۰ نقطه در کاربری‌های مختلف نیز، محدوده مربع شکلی با مساحت تقریبی ۱۰۰۰ مترمربع و با مرکزیت نقطه مد نظر انتخاب شد. سپس، از چهار نقطه روی قطرها و با فاصله‌های تقریباً یکسان از مرکز، نمونه‌های با وزن یکسان و نیم کیلوگرم برداشت شد. نمونه‌ها به‌طور کامل مخلوط شدند و نمونه مرکب دو کیلوگرمی به‌دست‌آمده درون کیسه پلاستیکی انتقال یافت و بعد

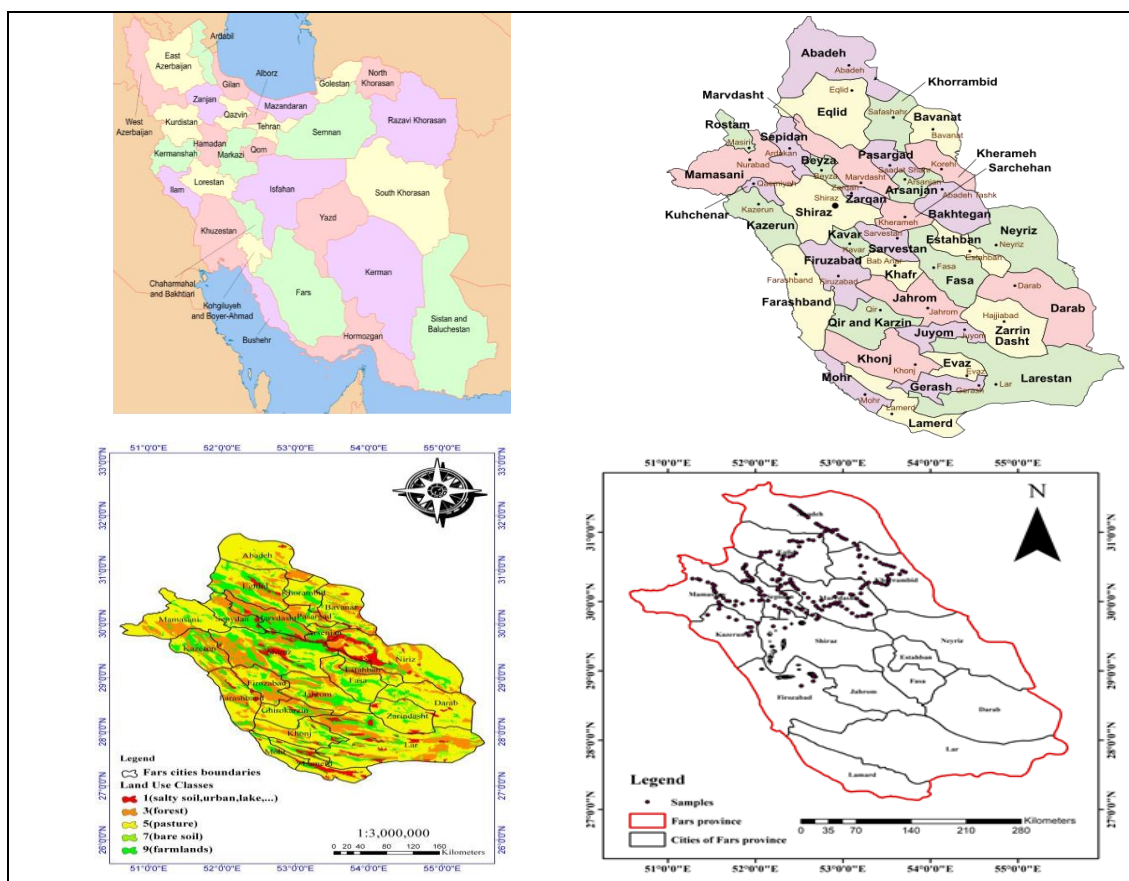
از برچسب‌گذاری در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه ارسال شد. سپس، برای تجزیه و انجام اندازه‌گیری‌ها، هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بخشی از هر نمونه برای اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی در یخچال و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری نگهداری شدند. با استفاده از روش‌های استاندارد متداول شاخص‌های مربوط به اندازه ماده آلی و عناصر کم‌مصرف خاک نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی پایه خاک، به اندازه ۵۰ گرم از خاک مرطوب تازه به ظروف شیشه‌ای دربسته منتقل شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر محلول نیم مولار هیدرکسید سدیم به هر ظرف حاوی خاک، اضافه شد و نمونه‌ها برای ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از این مدت با اضافه کردن دو میلی‌لیتر کلرورباریم به هیدرکسید سدیم، محلول با استفاده از اسیدکلریدریک تیتراسیون انجام شد و اندازه تنفس میکروبی پایه خاک، محاسبه شد (وانس و همکاران ۱۹۸۷).

در این پژوهش، پیش از واکاوی آماری، بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. برای ارزیابی اثر کاربری‌ها بر ویژگی‌های زیستی و حاصلخیزی در خاک‌های آهکی مطالعه‌شده، تجزیه و تحلیل آماری پراکنش یک‌طرفه (ANOVA) داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نسخه ۲۷/۰/۱ نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای ارزیابی اثر کاربری‌های مطالعه‌شده بر میانگین اندازه‌های ویژگی‌های خاکی مطالعه‌شده، مقایسه میانگین ویژگی‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ و با استفاده از نرم‌افزار نامبرده انجام شد.

جدول ۱- روش های آزمایشگاهی استفاده شده برای اندازه گیری ویژگی های زیستی و حاصلخیزی در خاک های مطالعه شده.

Table 1- Laboratory methods used to measure biological and fertility characteristics in the studied soils.

Properties	Method	Reference
Soil respiration	Titration by HCl	Vance et al., 1987
Organic matter	Wet Oxidation	Page et al., 1982
Phosphorus	Extraction with sodium bicarbonate, Olsen method	Olsen and Dean, 1965
Copper	Extraction with DTPA and reading by atomic absorption spectrometry	Lindsay and Norvell, 1978
Manganese	Extraction with DTPA and reading by atomic absorption spectrometry	Lindsay and Norvell, 1978
Iron	Extraction with DTPA and reading by atomic absorption spectrometry	Lindsay and Norvell, 1978
Zinc	Extraction with DTPA and reading by atomic absorption spectrometry	Lindsay and Norvell, 1978
Potassium	In the extract of saturated soil paste by the flame photometer	Soil Survey Staff, 1992
Sodium	In the extract of saturated soil paste by a flame photometer	Soil Survey Staff, 1992
CaCO ₃	Titration by NaOH	Page et al., 1987



شکل ۱- منطقه مطالعه شده و موقعیت محل های نمونه برداری شده در مرکز و نیمه شمالی استان فارس.

Figure 1- The study area and location of sampling points in the central and northern half of Fars Province.

نتایج و بحث

منگنز قابل استفاده خاک

نتایج نشان داد تفاوت اندازه منگنز در میان کاربری‌های زمین‌های مطالعه شده معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که بیشترین و کمترین اندازه‌های میانگین غلظت منگنز به‌ترتیب در خاک‌های جنگل (۴/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و مراتع ضعیف (۲/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. همچنین، تفاوت اندازه این عنصر در میان زمین‌های مرتع قوی و مرتع ضعیف معنی‌دار نبود (شکل ۲). در این راستا، نتایج پژوهش عسکری و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد بیشترین میانگین غلظت اغلب عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در خاک جنگل پرتراکم به‌دست آمد و با تغییر کاربری به جنگل کم‌تراکم و کشت دیم، کاهش قابل‌توجهی مشاهده شد. ماده آلی خاک پس از تجزیه، تأمین‌کننده بخشی از عناصر ریزمغذی است. افزون بر این، در تجزیه مواد آلی، اسیدهای آلی ترشح‌شده سبب آزاد شدن عناصر از بخش معدنی خاک نیز می‌شوند. از این‌رو، غلظت منگنز در زمین کاربری‌هایی با مواد آلی بیشتر مانند جنگل، افزایش می‌یابد. قابلیت دسترسی منگنز معمولاً در خاک‌های آهکی (با پ‌هش زیاد)، کم است. زیرا، عملاً بخش اندکی از منگنز کل در محلول خاک وجود خواهد داشت. بر پایه گزارش هاو لین و همکاران (۲۰۰۷)، اندازه منگنز قابل‌استفاده در خاک به عامل‌هایی چون ترکیبات معدنی خاک، پ‌هش، نوع و اندازه مواد آلی و شرایط محیطی خاک بستگی دارد. همچنین، عامل مهم در توزیع منگنز، اندازه ماده آلی و درجه تجزیه این مواد است. موسوی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند تفاوت اندازه آهن و منگنز در میان سه کاربری

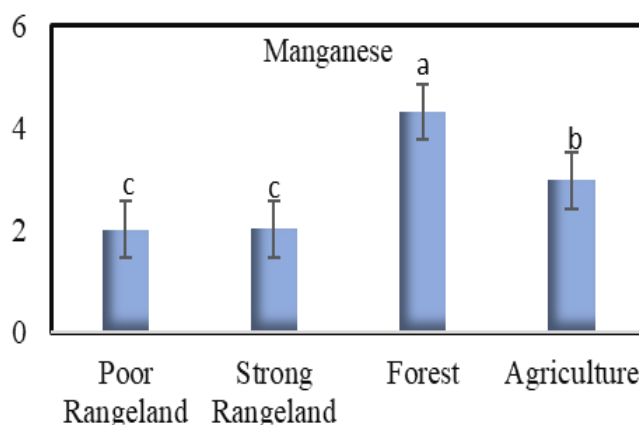
معنی‌دار شد. به‌طوری‌که اندازه آن در کاربری گندم به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو کاربری باغ انار و زیتون بود. این پژوهشگران، گزارش کردند در کاربری گندم که اندازه پ‌هش خاک نزدیک خنثی و به‌طور معنی‌داری کمتر از دو کاربری دیگر بود کمتر بودن پ‌هش خاک سبب افزایش اندازه عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک زیر کشت گندم شد و ترشح اسیدهای آلی از ریشه گندم نیز، با تشکیل کلات با عناصر کم‌مصرف در خاک زیر کشت گندم سبب افزایش حلالیت و شکل قابل‌جذب این عناصر در خاک شدند. بر اساس نتایج پژوهش امامی و همکاران (۲۰۱۴)، اسیدهای کربوکسیلیک سبک در بسیاری از فرآورده‌ها و واکنش‌های شیمیایی خاک وجود دارند و عملکرد این ترکیبات به‌عنوان لیگاند، سبب افزایش اندازه کل کاتیون‌های محلول خاک (مانند آهن و آلومینیوم) با ایجاد کمپلکس با کاتیون فلزی، هستند. عسکری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند در کاربری جنگل متراکم، منگنز خاک بیشترین اندازه است و با تغییر کاربری به سمت کشت دیم و جنگل نابودشده از اندازه منگنز خاک کاسته می‌شود. بر اساس نتایج پژوهش بوستانی و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر مقایسه غلظت منگنز قابل‌استفاده در کاربری‌های مختلف، مشخص شد که بیشترین اندازه غلظت منگنز در کاربری باغ و کمترین آن در کاربری جنگل بود. همچنین، در کاربری مرتع این اندازه حد متوسط بود. حد کفایت منگنز در خاک در دامنه ۲ تا ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است (ردی و همکاران ۲۰۱۷). بر اساس نتایج این پژوهش، اندازه این عنصر در خاک زمین‌های جنگلی بیش از حد مطلوب بود و در دیگر کاربری‌ها این اندازه در حد مطلوب بود.

جدول ۲- چکیده آماری ویژگی‌های زیستی و حاصلخیزی خاک در کاربری‌های مختلف.

Table 2- Summary statistics of biological and fertility properties of soil in different land uses.

Soil properties	Strong rangeland (N=66)				Poor rangeland (N=56)			
	Mean	Max	Min	Standard deviation	Mean	Max	Min	Standard deviation
Sodium (mg/L)	7.78	10.96	5.30	1.49	9.15	11.64	6.48	1.41
Potassium (mg/L)	8.75	14.47	4.06	2.54	8.44	11.90	4.06	2.10
Manganese (mg/kg)	2.02	2.95	1.16	0.48	2.02	6.57	0.02	1.18
Copper (mg/kg)	0.32	0.74	0.05	0.14	0.28	0.67	0.06	0.10
Iron (mg/kg)	1.36	2.96	0.58	0.62	0.52	0.91	0.02	0.25
Zinc (mg/kg)	0.11	0.20	0.02	0.04	0.08	0.11	0.06	0.01
Phosphorus (mg/kg)	44.26	52.00	36	4.71	46.58	72.00	30	9.15
Soil Respiration (mg CO ₂ /g day)	17.67	26	12	4.49	12.40	30	2	6.33
Organic Matter (%)	1.91	2.59	1.31	0.34	1.64	3.24	0.31	0.56
CaCO ₃ (%)	28.75	46.25	6.25	17.84	28.57	45	19	14.6

Soil properties	Agriculture (N=87)				Forest (N=91)			
	Mean	Max	Min	Standard deviation	Mean	Max	Min	Standard deviation
Sodium (mg/L)	9.42	14.46	4.72	1.97	7.72	9.96	6.30	0.90
Potassium (mg/L)	7.72	12.90	4.06	2.14	7.65	9.90	4.06	1.26
Manganese (mg/kg)	2.98	9.04	0.29	2.09	4.32	11.96	0.45	2.82
Copper (mg/kg)	0.37	1.90	0.02	0.28	0.22	0.58	0.02	0.09
Iron (mg/kg)	1.78	4.25	0.37	0.84	1.88	4.58	0.04	0.93
Zinc (mg/kg)	0.10	0.44	0.01	0.07	0.12	0.54	0.01	0.08
Phosphorus (mg/kg)	44.4	76	28	8.09	42.34	48	34	4.33
Soil Respiration (mg CO ₂ /g day)	20.3	39	10	6.35	30.52	90	10	15
Organic Matter (%)	2.07	4.44	0.64	0.71	3.45	9.52	0.56	2.16
CaCO ₃ (%)	37.86	43	11	14.271	37.57	52.5	12.5	16.36



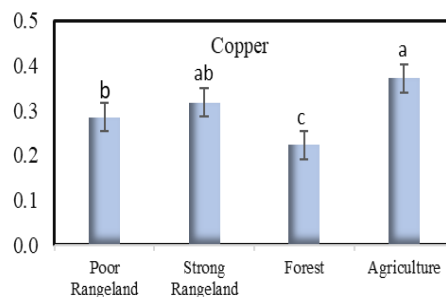
شکل ۲- میانگین غلظت منگنز قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم خاک) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه، نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 2- Mean values of available manganese concentration (mg kg⁻¹ soil) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

مس قابل استفاده خاک

نتایج نشان داد بیشترین و کمترین میانگین غلظت مس قابل استفاده به ترتیب مربوط به کاربری کشاورزی (۰/۳۷ میلی گرم در کیلوگرم) و جنگل (۰/۲۲ میلی گرم در کیلوگرم) بود (شکل ۳) که از نظر آمادی این تفاوت معنی دار بود (جدول ۲). از آنجایی که اندازه بحرانی این عنصر از ۰/۲ تا ۰/۴ میلی گرم در کیلوگرم خاک متغیر است، اندازه این عنصر در خاک در حد مطلوب بود. بوستانی و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند در میان کاربری‌های پژوهش شده، غلظت مس در کاربری باغ بیشترین اندازه و در کاربری جنگل کمترین اندازه بود. میانگین غلظت مس در خاک زمین‌های مرتع قوی بیشتر از خاک زمین‌های مرتع ضعیف بود هرچند میان این دو تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳). به نظر می‌رسد

مس برخلاف دیگر عناصر کم مصرف به دلیل کمپلکس شدنش با ماده آلی و کاهش فراهمی آن در خاک، بیشترین اندازه آن در خاک کاربری‌هایی با ماده آلی زیاد (مانند زمین‌های جنگلی) قابل مشاهده است. موسوی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند پهاش خاک بر غلظت و اندازه فراهمی عناصر کم مصرف بسیار تأثیرگذار بود و در کاربری گندم اندازه پهاش نزدیک به خنثی و کمتر از دو کاربری انار و زیتون بود. از این رو، این موضوع سبب افزایش اندازه عنصر مس در خاک‌های تحت کشت گندم شد. به بیان دیگر، ترشح اسیدهای آلی از ریشه گندم با تشکیل کلات با عناصر کم مصرف سبب افزایش حلالیت و شکل قابل جذب این عنصر در خاک می‌شود.



شکل ۳- میانگین غلظت مس قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم خاک) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه نشان دهنده نبودن تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 3- Mean values of available copper concentration (mg kg⁻¹ soil) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

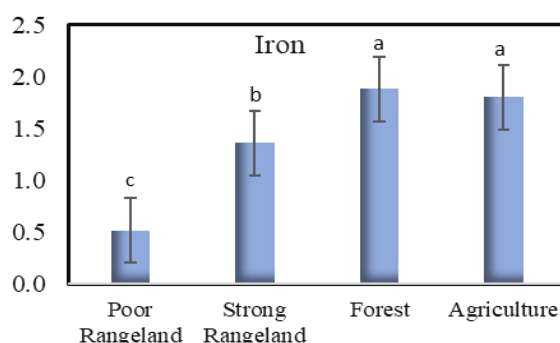
آهن قابل استفاده خاک

بر اساس نتایج این پژوهش، اثر کاربری‌های مختلف بر غلظت آهن قابل استفاده خاک معنادار بود (جدول ۲). به طوری که بیشترین اندازه آهن قابل استفاده خاک در کاربری جنگل (۱/۹ میلی گرم در کیلوگرم) و کمترین اندازه در زمین‌های مرتع ضعیف (۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم) به دست آمد (شکل ۴). با توجه به حد مطلوب این عنصر که ۴/۵ تا ۷/۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک است (ردی و همکاران ۲۰۱۷) در همه

زمین‌ها اندازه این عنصر خیلی کم بود. با توجه به تشکیل کمپلکس آهن با مواد آلی و حفظ این عنصر در محلول خاک به نظر می‌رسد در خاک‌هایی با مواد آلی بیشتر، اندازه آهن قابل استفاده نیز بیشتر باشد. در زمین‌های کشاورزی نیز احتمالاً کوددهی سبب افزایش اندازه آهن در خاک شده است و در زمین‌های جنگل تشکیل کمپلکس‌های آلی سبب حفظ این عنصر شده است. در زمین‌های با پوشش گیاهی خوب

افزایش اندازه عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک زیر کشت گندم شد. این نتایج با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. از سوی دیگر، نتایج این پژوهش با یافته‌های بوستانی و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر اینکه غلظت آهن قابل استفاده در میان کاربری‌های مختلف مطالعه‌شده (باغ، جنگل و مرتع) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، همخوانی ندارد. این موضوع به دلیل تفاوت در ویژگی‌های مختلف خاک، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، اقلیم و مدیریت زمین‌ها است.

ترشح اسیدهای آلی از ریشه گیاهان سبب افزایش حلالیت و شکل قابل جذب آهن شده است. موسوی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند نیاز متفاوت درختان و محصولات زراعی به عناصر کم‌مصرف سبب جذب بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه آهن و منگنز به‌وسیله درختان و کاهش اندازه آنها در خاک می‌شود. به بیان دیگر، چون پهاش خاک تأثیر بسزایی بر غلظت و فراهمی عناصر کم‌مصرف دارد در کاربری گندم اندازه پهاش نزدیک خنثی و به طور معنی‌داری کمتر از دو کاربری انار و زیتون بود. از این رو، این موضوع سبب



شکل ۴- میانگین غلظت آهن قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم خاک) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه، نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 4- Mean values of available iron concentration (mg kg⁻¹ soil) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

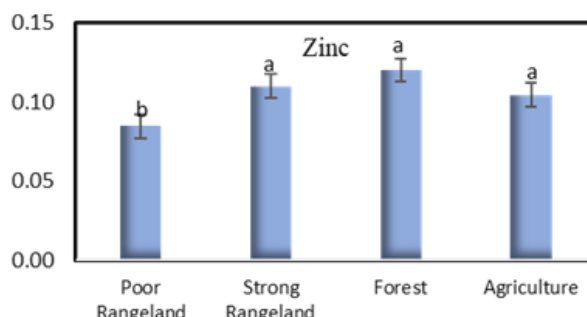
روی قابل استفاده خاک

عناصر ریز مغذی از جمله روی از خاک بیشتر شده و پس از مرگ گیاه مجدداً این عناصر به خاک باز می‌گردند. نتایج پژوهش عسکری و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد بیشترین اندازه عناصر ریزمغذی در زمین‌های جنگل متراکم بلوط، مشاهده شد. در حالی که کمترین اندازه عناصر ریزمغذی به ترتیب در زمین‌های کاربری جنگل نابودشده و زمین‌های دیم مشاهده شد. نتایج پژوهش موسوی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که اثر تغییر کاربری بر عنصر کم‌مصرف روی معنی‌دار نبود که با نتایج به دست آمده از این پژوهش هماهنگی دارد. از سوی دیگر، نتایج این پژوهش با یافته‌های بوستانی و همکاران (۱۳۹۸)

نتایج نشان داد کاربری زمین بر غلظت روی قابل استفاده خاک مؤثر بود. به طوری که بیشترین اندازه میانگین روی (۰/۱۲ میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های کاربری جنگل و کمترین اندازه (۰/۰۸ میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های کاربری مرتع ضعیف مشاهده شد. تفاوت اندازه روی در میان کاربری‌های مرتع قوی، جنگل و کشاورزی از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۵). به نظر می‌رسد در زمین‌های با پوشش گیاهی خوب، ماده آلی بیشتر سبب تشکیل کمپلکس و حفظ عنصر روی در خاک شده است. از سوی دیگر، به دلیل ترشح اسید از ریشه گیاهان، پهاش خاک کاهش یافته در نتیجه جذب

روی کمتر از ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اندازه خیلی کم این عنصر است (ردی و همکاران ۲۰۱۷) در این پژوهش کمبود و فقر عنصر روی در تمام کاربری‌ها مشاهده شد.

مبنی بر اینکه گزارش کردند در میان کاربری‌های مطالعه‌شده، غلظت روی قابل‌استفاده در کاربری باغ بیشترین اندازه و در کاربری جنگل کمترین اندازه بود، هم‌راستا نیست. این موضوع به دلیل تفاوت در شرایط و عامل‌های مختلف مؤثر است. از آنجایی که اندازه عنصر



شکل ۵- میانگین غلظت روی قابل‌استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 5- Mean values of available zinc concentration (mg kg^{-1} soil) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

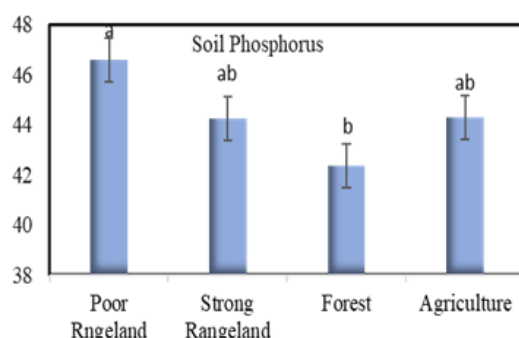
فسفر قابل‌استفاده خاک

به شکل قابل توجهی کاهش داد. فو و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که تغییر کاربری بوم‌سازگان جنگلی در منطقه ایدر در چین سبب کاهش مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس شد. درحالی‌که تغییر کاربری از زراعت به جنگل با گذشت ۲۰ سال منجر به افزایش مواد آلی، نیتروژن کل، نیتروژن قابل دسترس، فسفر قابل دسترس و پتاسیم شد. تغییر کاربری زمین و عملیات کشاورزی در زمین‌های بکر، سبب کاهش ورود بقایای گیاهی تازه به خاک می‌شود. این بقایا شامل اندازه‌های قابل‌توجهی از ترکیبات هستند که به راحتی تجزیه می‌شوند. منگ و همکاران (۲۰۰۸) اثر کاربری زمین بر هدررفت اندازه فسفر بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بیشترین اندازه هدررفت فسفر در کاربری کشاورزی به‌وسیله فرسایش است. همچنین، جذب فسفر به‌وسیله گیاهان و خروج آن به دلیل برداشت محصول از دیگر عامل‌های کاهش فسفر خاک در اثر کشاورزی است. ملک‌پور و همکاران (۲۰۱۱) اثر تغییر کاربری بر ویژگی‌های خاک را بررسی کردند و

نتایج نشان داد بیشترین اندازه میانگین فسفر قابل‌استفاده (۴۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های کاربری مرتع ضعیف و کمترین اندازه (۴۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در زمین‌های جنگلی مشاهده شد. تفاوت اندازه فسفر در میان خاک‌های کاربری‌های جنگل، مرتع قوی و کشاورزی از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۶). افزایش اندازه فسفر در خاک مرتع در مقایسه با زمین‌های زراعی را می‌توان به حضور و چرای دام در مراتع تحت چرا نسبت داد. زیرا، حرکت دام در سطح مرتع سبب دفن بیشتر فضولات و لاشبرگ می‌شود. همچنین، به دلیل تردد دام و به هم خوردن خاک سطحی، تحرک فسفر موجود در سطح خاک بیشتر می‌شود. در زمین‌های کشاورزی با برداشت فسفر به‌وسیله محصولات زراعی، این عنصر به خاک بازگشت داده نمی‌شود. در پژوهشی عمادی و همکاران (۲۰۰۸) اثر تغییر کاربری زمین را بر ویژگی‌های خاک در بلندی‌های شمال ایران بررسی کردند و دریافتند که زراعت و تغییر کاربری اندازه کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر موجود در خاک را

زمین‌های مرتعی کاهش یافت. این یافته با نتایج این پژوهش هم‌راستا است.

دریافتند که اندازه ماده آلی، کربن آلی، کلسیم، منیزیم، فسفر و آهک خاک به‌دلیل تغییر کاربری



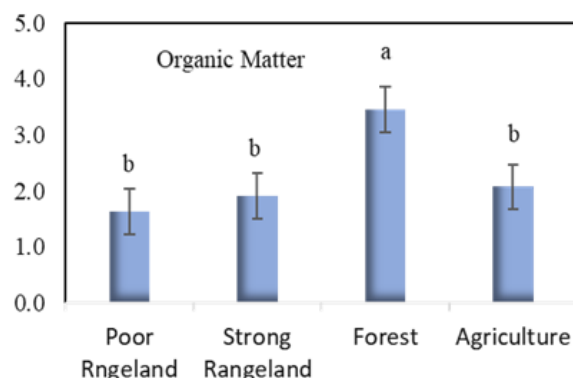
شکل ۶- میانگین غلظت فسفر قابل‌استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 6- Mean values of available phosphorus concentration (mg kg⁻¹ soil) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

ماده آلی خاک

با زمین دیگر کاربری‌های مطالعه‌شده بود. نتایج پژوهش عبدالله‌پور و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد اندازه ماده آلی در کاربری جنگل در مقایسه با دیگر کاربری‌ها بیشتر بود. این یافته نشان‌دهنده توان زیاد جنگل در ترسیب کربن است. نتایج پژوهش صادقی میانرودی و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان داد ماده آلی در زمین‌های بایر بسیار کمتر از زمین‌های تحت کشت نیشکر بود که دلیل این موضوع را بازگشت بقایای نیشکر به سطح خاک مزارع گزارش کردند. مهدوی و همکاران (۲۰۱۸) نیز دریافتند مهمترین عامل موثر در تسریع کاهش مواد آلی در خاک، عملیات خاکورزی است که سبب افزایش سرعت تجزیه مواد آلی خاک طی عملیات شخم شد و کربن آلی خاک به‌شکل دی‌اکسیدکربن از خاک خارج می‌شود. به این دلیل کمترین اندازه کربن آلی خاک در کاربری کشاورزی مشاهده شد که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش هم‌راستا است.

نتایج نشان داد اثر کاربری زمین بر اندازه ماده آلی خاک معنی‌دار بود. بیشترین اندازه ماده آلی (۳/۴۵٪) در خاک‌های کاربری جنگل و کمترین اندازه ماده آلی (۱/۶۴٪) در زمین‌های مرتع ضعیف مشاهده شد. هرچند تفاوت اندازه ماده آلی در میان کاربری‌های مرتع و کشاورزی از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۷). این موضوع به‌دلیل تفاوت در نوع و اندازه پوشش گیاهی و اندازه لاشبرگ در کاربری جنگل در مقایسه با دیگر کاربری‌ها بود. همچنین، در زمین‌های جنگلی با ریزش شاخ و برگ گیاه، مواد آلی بیشتری در خاک ذخیره می‌شود. درحالی‌که در دیگر کاربری‌ها اندازه برگشت ماده آلی به خاک بسیار کمتر است. به‌بیان دیگر این تغییر در اندازه ماده آلی در کاربری‌های مختلف به اندازه ورودی و برداشت ماده آلی در هر کاربری مرتبط است، به‌طوری‌که در زمین‌های جنگلی اندازه ورود مواد آلی به خاک زیاد و اندازه برداشت (خروج) آن کمتر است. این موضوع نشان‌دهنده توان بیشتر زمین‌های جنگلی برای ترسیب کربن در مقایسه



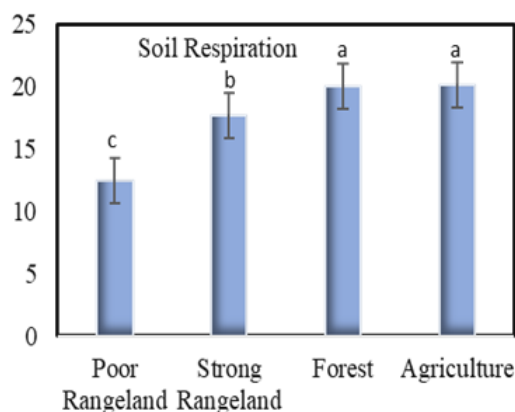
شکل ۷- میانگین ماده آلی (درصد) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 7- Mean values of organic matter (%) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

تنفس میکروبی خاک

جدید و تنوع و فراوانی ریزجانداران سبب افزایش آن می‌شود. مظاهری و بازگیر (۲۰۱۹) گزارش کردند بیشترین اندازه تنفس میکروبی پایه (که به اندوخته ماده آلی و توده زنده یا فراوانی ریزجانداران خاک وابسته است) و برانگیخته (که تنها به توده زنده و فراوانی ریزجانداران خاک وابسته است) و زیست‌توده میکروبی در کاربری جنگل در مقایسه با مرتع و کشاورزی مشاهده شد. در پژوهشی، رسولی صادقیانی و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند تغییر کاربری از جنگل به زراعت و باغ سبب کاهش تنفس میکروبی پایه خاک شد. اکبری شهریاری و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند جمعیت غالب ریزجانداران خاک را هتروتروف‌ها تشکیل می‌دهند که از مواد آلی خاک به‌عنوان منبع کربن و انرژی استفاده می‌کنند. ازاین‌رو، به نظر می‌رسد که افزایش مواد آلی با افزایش جمعیت باکتریایی و قارچی همبستگی مثبت داشته باشد.

نتایج نشان داد که اثر نوع استفاده از زمین بر تنفس میکروبی خاک معنی‌دار بود، به‌طوری‌که اندازه تنفس میکروبی خاک در کاربری‌های جنگل و کشاورزی در مقایسه با خاک‌های مرتع بیشتر بود. بیشترین اندازه تنفس میکروبی خاک در کاربری‌های کشاورزی (۲۰/۱۰ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) و جنگل (۲۰/۰۲ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) و کمترین اندازه تنفس خاک در خاک‌های مراتع ضعیف (۱۲/۴۰ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) مشاهده شد (شکل ۸). تنفس خاک در کاربری‌های مطالعه‌شده تغییرات شدیدی را نشان داد. میکروب‌های خاک فعال‌ترین بخش بوم‌سازگان زمین هستند و نقش مهمی در تجزیه و معدنی‌سازی مواد آلی خاک دارند. علی‌دوست و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند بیشترین تنفس در خاک مربوط به کاربری جنگل بود و تابع الگوی تغییرات مواد آلی بود. تنفس خاک یکی از ویژگی‌های وابسته به اقلیم است و مواد آلی زیاد، افزودن مواد آلی

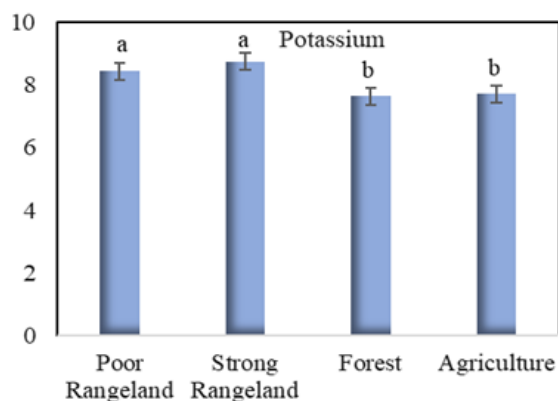


شکل ۸- میانگین تنفس میکروبی پایه خاک (میلی گرم دی اکسید کربن در گرم خاک در روز) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).
 Figure 8- Mean values of soil respiration (mg CO₂/g day) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

پتاسیم محلول خاک

میلی گرم در لیتر) و کمترین آن در کاربری جنگل و کشاورزی (۷/۷ و ۹/۴ میلی گرم در لیتر) مشاهده شد (شکل ۲). این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار بودند (شکل ۹).

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد اندازه پتاسیم در زمین‌های با پوشش گیاهی خوب مانند جنگل و کشاورزی (احتمالاً به‌دلیل آبخویی و برداشت به‌وسیله گیاه) کمتر بود، به طوری که بیشترین اندازه پتاسیم در کاربری‌های مراتع ضعیف و قوی ۹/۱ و ۷/۸



شکل ۹- میانگین غلظت پتاسیم محلول (میلی گرم در لیتر) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

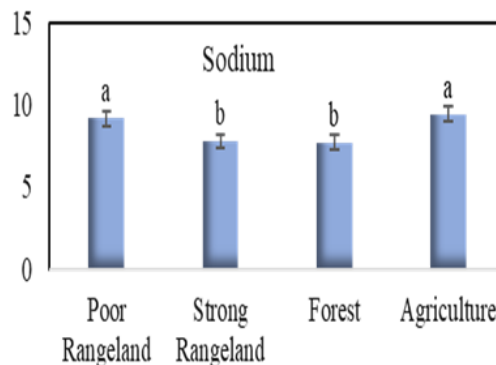
Figure 9- Mean values of soluble potassium concentration (mg L⁻¹) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

(۲۰۱۷) دریافت با تبدیل کاربری مرتع به دیگر کاربری‌ها، اندازه درصد آهک، پتاسیم، فسفر و سنگریزه کاهش یافت.

سدیم محلول خاک

اثر کاربری‌های مختلف بر اندازه سدیم خاک معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیشترین اندازه میانگین سدیم (۹/۴ میلی‌گرم در لیتر) در زمین‌های کشاورزی و کمترین آن (۷/۷ میلی‌گرم در لیتر) در زمین‌های جنگل به‌دست آمد (جدول ۲). اما، این تفاوت در زمین‌های جنگل و مراتع قوی از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۱۰).

در پژوهشی بستانی و سوابقی (۲۰۱۱) کاهش اندازه پتاسیم قابل‌جذب را به‌دلیل کشت دراز مدت نیشکر گزارش کردند. در جنوب اتیوپی، لمانی و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده کردند که اندازه پتاسیم قابل‌جذب با گذشت ۱۰ سال پس از قطع درختان جنگلی و تغییر کاربری ۳۶۵٪ افزایش یافت. این پژوهشگران دلیل این موضوع را ناشی از کاربرد کودهای پتاسه در کاربری زراعی گزارش کردند. با توجه به اینکه معمولاً بیشترین پتاسیم در سطح خاک است، هدررفت آن در اثر فرسایش به‌علت تغییر کاربری قابل توجه است. پدیده آبشویی و فرسایش آبی را می‌توان از دلیل‌های مهم هدررفت پتاسیم در کاربری‌های کشاورزی و جنگل در مقایسه با خاک مرتع دانست. پیچند



شکل ۱۰- میانگین غلظت سدیم محلول (میلی‌گرم در لیتر) در کاربری‌های مختلف (حروف مشابه، نشان‌دهنده نبودن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 10- Mean values of soluble sodium concentration (mg L⁻¹) in different land uses (Means followed by the same letters are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's Multiple Range Test).

معنی‌دار نشد. همچنین، این پژوهشگران گزارش کردند که احتمالاً یکی از دلیل‌های افزایش شوری خاک استفاده از کودهای شیمیایی در زمین‌های آبی منطقه است. در پژوهشی مظفری و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده کردند اندازه سدیم، پتاسیم و نسبت‌جذبی‌سدیم در کاربری باغ بیشتر از زمین‌های زراعی بود. این یافته می‌تواند ناشی از افزودن کودهای شیمیایی و دامی به کاربری باغ باشد. قربانی و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند به‌دلیل تغییر کاربری زمین‌های مرتعی به کشاورزی اندازه‌های کاتیون‌های محلول سدیم و پتاسیم به‌طور معنی‌داری تغییر یافت، به‌طوری‌که اندازه سدیم در زمین‌های کشاورزی در

این یافته می‌تواند به‌دلیل استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی و همچنین عملیات کشت و کار و شوری ثانویه ناشی از کم‌آبایی و تأمین نشدن نیاز آبشویی به‌دلیل کمبود منابع آب و آبیاری با آب‌های با کیفیت نامطلوب باشد. همچنین، می‌توان گفت در زمین‌های با پوشش گیاهی ضعیف و چرای بی‌رویه دام‌ها، پوشش گیاهی کاهش خواهد یافت و در نتیجه تبخیر از سطح خاک افزایش خواهد یافت که این موضوع نیز سبب افزایش سدیم خاک می‌شود. در پژوهش علیدوست و همکاران (۲۰۱۸) نیز دریافتند بیشترین اندازه سدیم مربوط به خاک‌های کشاورزی بود و در دیگر کاربری‌ها تفاوت این اندازه از نظر آماری

مقایسه با زمین‌های مرتعی ۱/۵ برابر بیشتر بود. بر پایه نتایج این پژوهش می‌توان گفت وضعیت نابودی زمین‌ها باید از چهار دیدگاه شیمیایی، فیزیکی، فرسایش و زیستی بررسی شود. نتایج این پژوهش بیانگر اثرات نوع کاربری زمین بر ویژگی‌های حاصلخیزی خاک بود. خاک‌های تحت پوشش کاربری‌های مختلف با اندازه‌های متفاوتی از عناصر کم‌مصرف، ماده آلی و تنفس میکروبی مشاهده شدند. همچنین، مشاهده شد روند کاهش ویژگی‌های مهم حاصلخیزی تابع الگوی کاربری‌های مختلف زمین است و هشدار جدی برای نابودی بیش از پیش خاک در منطقه بررسی شده است. این نکته سبب کاهش توان تولیدی خاک و خارج شدن آنها از چرخه تولید خواهد شد. به بیان دیگر هنگامی نابودی زمین رخ می‌دهد که توانایی خود را برای ارائه هرچه بهتر خدمات زیست‌محیطی، بوم‌شناختی و اقتصادی از دست می‌دهد. نتایج این پژوهش بیانگر وجود اندازه‌های قابل قبولی از ماده آلی و عناصر در زمین‌های با پوشش گیاهی خوب بود. درحالی‌که زمین‌های با پوشش گیاهی کم اندازه‌های کمتری از این دو سنجه دارند. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده تمایل بیشتر زمین‌های با پوشش گیاهی کمتر به نابودی باشد. هرچند کاهش عناصر و ماده آلی و به همراه آن کاهش پوشش گیاهی توان بالقوه خاک را در برابر فرسایش آبی و بادی افزایش خواهد داد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد در زمین‌های با پوشش گیاهی خوب (مانند جنگل) اندازه ماده آلی (۳/۴۵٪) و عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی به ترتیب ۰/۵ و ۰/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و تنفس میکروبی خاک ۲۰/۰۲ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز) بود. دلیل این یافته بازگشت بیشتر مواد آلی به خاک و افزایش سرعت تجزیه مواد آلی بیشتر است. این موضوع سبب افزایش حاصلخیزی و بهبود شرایط رشد گیاهان می‌شود. از این رو، مدیریت صحیح منابع طبیعی و حفظ جنگل‌ها به منظور نگهداشت

کیفیت خاک و انجام عملیات مدیریتی از جمله جلوگیری از قطع درختان و چرای بی‌رویه در مراتع پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی نوع زمین بر شاخص‌های مختلف زیستی و حاصلخیزی خاک به شکل‌های متفاوتی اثرگذار است. مفهومی کلی از نابودی مراتع که به‌طور یکنواخت در همه شرایط استفاده شود وجود ندارد و لازم است ویژگی یا ویژگی‌های نابودی تعریف شود. اما، بر اساس دیدگاه پژوهشگران این عرصه، نابودی مراتع با کاهش پایداری زیستی و بهره‌وری اقتصادی در ارتباط با استفاده نادرست یا ناپایدار از زمین و تأثیر این استفاده ناپایدار در آب‌شناسی، فرآیندهای خاک و ترکیب پوشش گیاهی تعیین می‌شود (بدونه و انگر ۲۰۱۲). از سوی دیگر، کاهش تولید علوفه خشک به‌عنوان عامل بسیار مهمی بر سنجش اندازه نابودی مراتع استفاده می‌شود. در این پژوهش نتایج بررسی وضعیت برخی شاخص‌های زیستی و حاصلخیزی خاک‌ها تحت کاربری‌های مختلف نشان داد که وضعیت خاک‌های مرتعی از دیدگاه اندازه عناصر کم‌مصرف مانند روی (۰/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم)، آهن (۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، تنفس میکروبی (۱۲/۴۰ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز)، ماده آلی (۱/۶۴٪) در مقایسه با خاک دیگر کاربری‌ها نامناسب‌تر و شکننده‌تر بود. بر اساس نتایج این پژوهش، زمین‌های مراتع ضعیف در مقایسه با دیگر کاربری‌ها نیازمند برنامه‌های مدیریتی ویژه‌تر و مدون‌تر برای احیا، جلوگیری از روند نابودی، کاهش حاصلخیزی و کیفیت زیستی و بازگشت توان بالقوه خاک، می‌باشند. دستیابی به این هدف نیازمند دانش و اطلاعات کافی از اینگونه زمین‌ها است. از این رو، بی‌توجهی به نوع زمین می‌تواند در کوتاه‌مدت سبب کاهش عملکرد و سرانجام در درازمدت سبب از دست رفتن بهره‌دهی منابع طبیعی شود. در این راستا، پیشنهاد می‌شود پایش جدی و مداوم زمین‌های آسیب‌پذیر، برای بررسی توان بالقوه حاصلخیزی و باروری خاک انجام شود و روند رو به کاهش و سرعت از دست رفتن قدرت تولید سنجیده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود با

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله، بررسی نتایج

نویسنده دوم: راهنمایی، مفهوم‌سازی، ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج

نویسنده سوم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، بررسی نتایج

نویسنده چهارم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، بررسی نتایج

داشتن اطلاعات کافی از وضعیت زمین‌ها، همراه با اجرای برنامه‌های هماهنگ و مدون با آگاهی بخشی به مردم، از نیروهای مردمی برای حفاظت از زمین‌ها بهره‌گرفته شود. همچنین، با توجه به مشکلات نمونه‌برداری، زمان‌بر بودن و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری‌ها و نیاز به ابزارها و دستگاه‌های آزمایشگاهی و مواد شیمیایی، پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش سهولت و صرفه‌جویی در زمان و منابع مالی برای پایش‌های مستمر و دوره‌ای وضعیت زمین‌ها، از روش‌های مختلف آماری، زمین آمار و ... برای کاهش تعداد نمونه‌ها و برآورد ویژگی‌ها با دقت قابل قبول استفاده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با بررسی ویژگی‌های مختلف خاکی، گیاهی و ... مرتبط با کیفیت و سلامت زمین، شاخص‌های تلفیقی مناسب برای بررسی وضعیت زمین ارائه و محاسبه شوند.

فهرست منابع

- Abdollahpour AR, Barani Motlagh M, Bostani A, Kiani F, Khormali F, Ghorbani Nasrabadi R. 2024. Changes in chemical components and soil organic carbon resistance index as a result of land use change in loess-derived soils of Toshan region, Golestan Province. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*. 47(1): 5-55. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/agen.2024.44158.1674>
- Akbari-Shahriari F, Boroomand N, Shahriari A, Shirmohammadi E, Fazeli-Nasab B. 2023. The effect of land use changes on soil organic carbon and determination of the affecting soil factors in a bio-sequence (Case study: Jazink region of Sistan Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*. 30(1): 131-150. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2023.20864.3604>
- Amali N, Siroosi H, Sadeghipour A. 2020. Impacts of wind erosion and seasonal changes on soil carbon dioxide emission in southwestern Iran. *Arid Land*. 12: 690-700. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0018-5>
- Askari MS, Rostamkhani G, Amanifar S, Khoshzaman T. 2020. Evaluation of physical and biological soil quality using spectroscopy in agricultural lands of Zanjan province. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 10(1): 45-61. (In Persian). <https://sid.ir/paper/412931/en>
- Boostani H, Najafi Ghiri M, Mahmoodi A. 2019. Effect of land use change on potassium chemical fractions and availability of some soil nutrients in Darab Region, Fars Province. *Applied Soil Research*. 7(3): 180-191. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i-.11206>
- Bostani A, Savaghebi Gh. 2011. Study of potassium fixation capacity in some under-cultivation sugarcane soils in Khuzestan. *The Journal of Water and Soil*. 25(5): 982-993. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i-.11206>
- Eftekhari A, Ghilichniya H, Parsaei L, Yousefiyan M, Moetamedi J, Nateghi S. 2024. Preliminary evaluation of vegetation and soil monitoring on grasslands and meadows in humid and semi-humid areas of the north of the country. *The Nature of Iran*. 25(2): 21-30. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/irn.2023.129211>

- Emadi M, Emadi M. 2008. Effect of land use change on selected soil physical and chemical properties in North Highlands of Iran. *Journal of Applied Sciences*. 8(3): 496-502. <https://doi.org/10.3923/jas.2008.496.502>
- Emami, H., Astaraei, A. R., & Fotovat, A. (2014). Evaluating the effect of organic matter on soil quality score functions. *Journal of Water and Soil*, 28(3), 565-574. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.22840>
- Falahatkar S, Hosseini SM, Salman Mahiny AR, Ayoubi SH. 2016. Prediction of land use/cover change by using LCM model. *Environmental Research*. 7(13): 163-174. (In Persian).
- Ghorbani H, Kashi H, Hafezi M. 2013. The effect of changing land use on soil physical and chemical properties in Golestan province. *Soil Management*. 3(2): 49-58. (In Persian).
- Haghverdi K, Tavakoli Feizabadi M. 2025. The effect of land use on soil physicochemical and biological characteristics in the west of Mazandaran province. *Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR)*. 55(8): 1323-1343. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370566.669>
- Hamilton SE, Casey D. 2016. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*. 38: 729-725. <https://doi.org/10.1111/geb.12449>
- Hatami A, Sadeghian S, Jafari E, Jamzad Z, Jalili A. 2017. The conservation status of *Salvia lachnocalyx* Hedge. *Iran Nature*. 2(5): 98-103. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/im.2017.113629>
- Havlin J, Beaton JD, Tisdale S, Nelson W. 2007. *Soil fertility and fertilizers* (7th Ed.). MacMillan Publishing Co.
- Heidarizadi Z, Mohammadi AR. 2015. Predicting land use changes in Mehran plain using the automatic-arkov cell model. *Journal of Desert Ecosystem*. 5(10): 57-68. (In Persian).
- Heydari P, Hojati S, Enayatizamir N, Rayatpisheh A. 2017. Effect of land use change on C stock and some biological characteristics of soils in parts of Rakaat Watershed east of Khuzestan Province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 24(1): 181-192. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.109859>
- Jafareiyani N, Karami O. 2022. Evaluating the rate of natural land degradation based on land use change in Zagros forests. *Integrated Watershed Management*. 1(2): 47-61. <https://doi.org/10.22034/iwm.2022.250824>
- Karimi H. 2013. *Range Management* (9th Ed.). Tehran University Press. (In Persian).
- Khosravi H, Zehtabian GH, Azare A, Eskandari H. 2018. Investigating and comparing the effects of agricultural activities on soil degradation characteristics. *Journal of Rangeland*. 2(12): 232-241.
- King E, Roberts M, Herrick J. 2004. Symposium 23: Ecological theory and rangeland sustainability: Local strategies, global solutions. Making ecology relevant to sustainability: Trends, lessons and challenges for stronger links between ecology, society and policy. Annual meeting. Portland, Oregon, IALE, USA.
- Kooch Y, Shahpuri A, Joloro H, Haghverdi K, Tavakoli Feizabadi M. 2024. The effect of land use on soil physicochemical and biological characteristics in the west of Mazandaran Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 55(8): 1323-1343. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370566.669>
- La Manna L, Tarabini M, Gomez F, Mostagno CM. 2021. Changes in soil organic matter associated with afforestation affect erosion processes: The case of erodible volcanic soils from Patagonia. *Geoderma*. 403: 115265.
- Lindsay WL, Norvell WA. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
- Mahdavi A, Razavinia Z, Bazgir M, Rostaminia M. 2018. The effect of land use changes on soil quality indicators and carbon sequestration in a semi-arid area. *Scientific Journal of Desert Ecosystem Engineering*. 8(22): 101-113. (In Persian). <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.22.51>
- Malekpour B, Ahmadi T, Kazemi Mazandarani SS. 2011. The effect of land use change on the physical and chemical properties of soil in Kohnesh Lashkar-e-Jor, Nowshahr County. *Science and Technology of Natural Resources*. 6(3): 115-126.
- Mazaheri M, Bazgir M. 2019. The effect of climate and land uses on soil microbial biomass and activities. *Iranian Journal of Forest*. 11(2): 179-194. (In Persian).
- Moosavi SM, Emami H, Haghnia G. 2018. The effect of changing land use on soil physical and fertility properties in the Nehbandan area. *Agricultural Engineering*. 18(2): 59-69. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/agen.2018.21955.1350>
- Mozaffari H, Moosavi A, Sepaskhah AR. 2019. Effect of land use on some physical and chemical properties of a calcareous soil. *Journal*

- of Soil Research. 33(4): 525-541. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2019.126942.460>
- Mozaffari H, Moosavi AA, Sepaskhah AR, Cornelis W. 2022. Long-term effects of land use type and management on sorptivity, macroscopic capillary length, and water-conducting porosity of calcareous soils. *Arid Land Research and Management*. 36(4): 371-397.
- Mozaffari H, Moosavi AA, Sepaskhah AR. 2021. Land use-dependent variation of near-saturated and saturated hydraulic properties in calcareous soils. *Environmental Earth Sciences*. 80: 1-17. <https://doi.org/10.1080/15324982.2022.2066582>
- Mulia R, Hoang SV, Dinh VM, Duong NB, T Nguyen, AD, Lam DH, Thi Hoang DT, Van Noordwijk M. 2021. Earthworm diversity, forest conversion and agroforestry in Quang Nam Province, Vietnam. *Land*. 10(1): 36:1-19. <https://doi.org/10.3390/land10010036>
- Owliaie HR, Adhami E, Najafi Ghiri M. 2022. Changes in soil magnetic properties and iron oxides following land use change (case study: Mokhtar Plain, Kohgilouye Province). *Journal of Water and Soil*. 36(2): 267-282. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.75178.1140>
- Owliaie HR, Adhami E, Najafi Ghiri M. 2023. Effect of land use change on some fertility and biological properties of the soils of Yasouj Forest Region. *Isfahan University of Technology*. 27(3): 57-75. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jwss.27.3.53491>
- Page C, Sparks DL, Noll MR, Hendricks GJ. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy Middle Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Science Society of America Journal*. 51: 1460-1465.
- Pichand M. 2017. The effect of grassland conversion to other agricultural uses on some soil physicochemical properties (Case study: Watershed Basin of Amameh). *Natural Ecosystems*. 8: 99-122. (In Persian).
- Reddy P, Lakshmi V, Kamalakar J, Rao S. 2017. Critical levels of micro and secondary nutrients in soils and crops for optimum plant nutrition. *International Journal of Scientific Research*. 6(5): 593-595.
- Reed ST, Martens D. 1996. Copper and zinc. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3- Chemical Methods*. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. pp. 703-722.
- Sadeghi Mianrodi M, Moezi A, Gholami A, Babaei-nejad T, Panahpur E. 2022. Effects of land-use change on soil physical characteristics and nutrients in northern Khuzestan. *Agricultural Engineering*. 44(4): 381-397. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/agen.2022.39468.1622>
- Saeedi HR, Sadeghipour A, Kamali N, Zolfaghari AA. 2023. Influence of different land uses on some soil microbial indices (Case study: Lasjerd, Semnan Province, Iran). *Journal of Desert Management*. 11(2): 49-60. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jdmal.2023.2003379.1416>
- Shankar A, Garkoti SC. 2024. Influence of forest types on soil physicochemical and biological characteristics of associated agroecosystems in the central Himalaya. *Science of the Total Environment*. 906: 167731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.202.167731>
- Sohrabi H, Jourgholami M, Lo Monac A, Picchio R. 2022. Effects of forest harvesting operations on the recovery of earthworms and nematodes in the Hyrcanian old-growth forest: Assessment, mitigation, and best management practice. *Land*. 11(5): 746:1-15. <https://doi.org/10.3390/land11050746>
- Vanacker V, Ameijeiras-Mariño Y, Schoonejans J, Cornélis JT, Minella JP, Lamouline F, Vermeire ML, Campforts B, Robinet J, Van de Broek M, Delmelle P, Opfergelt S. 2019. Land-use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*. 178: 256-266.
- Wang T, Kang F, Cheng X, Han H, Ji W. 2016. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China. *Soil and Tillage Research*. 163: 163-184. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.015>
- Zahedifar M. 2017. Sequential extraction of zinc in the soils of different land use types as influenced by wheat straw-derived biochar. *Journal of Geochemical Exploration*. 182: 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.08.007>
- Zahedifar M. 2020. Iron fractionation in the calcareous soils of different land uses as influenced by biochar. *Waste and Biomass Valorization*. 11(5): 2321-2330. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0481-9>
- Zahedifar M. 2023a. Assessing alteration of soil quality, degradation, and resistance indices under different land uses through network and factor analysis. *Catena*. 222: 106807. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106807>
- Zahedifar M. 2023b. Feasibility of fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and fuzzy TOPSIS methods to assess the most sensitive soil attributes against land use change. *Environmental Earth Science*. 82(10): 248. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10934-y>



Assessing the Status of Soil Biological and Fertility Indices in Calcareous Soils under Various Land Uses in the Central and Northern Regions of Fars Province

Zahra Zarei¹, Seyed Ali Akbar Moosavi^{2*}, Mehdi Zarei³, Mohammad Amin Nematollahi⁴

1- Ph.D. Student, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2 and 3- Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

4- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Land management and land use change significantly affect soil status and related indicators, including the quantity and quality of soil fertility, as well as soil microbial biomass and respiration. Due to the application of various management methods and land use, different size of plant residues and different quality are produced, and the diversity of characteristics of these plant residues effect the composition, function of soil microbial communities, various biological indicators, soil fertility and soil quality. On the other hand, land use change also affects various soil characteristics, soil quality and related indicators. In this regard, based on the results of documented research, the effect of land use type on the status biological indicators and soil fertility in calcareous soils of Fars province has not been investigated, and the need to conduct such research is essential. Therefore, this study aimed to evaluate the status of some biological and fertility indicators in calcareous soils in different land uses in a part of Fars Province.

Materials and Methods

In this study, soil samples were taken from 300 points located in the central and northern half of Fars province. These samples were collected from May to July 2019 from a depth of 0 to 30 cm in four land uses, including forest, agriculture, strong rangeland, and poor rangeland.

Samples taken from each point, were transported into plastic bags and, after labeling, sent to the laboratory. Then, for chemical analysis and measurement of the desired properties, they were air-dried, and passed through a sieve with a two mm opening diameter. In addition, in these samples, some biological and soil fertility indicators, including organic matter, trace elements, and soil microbial respiration, were measured using standard conventional methods.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** aamousavi@gmail.com

Citation: Zarei, Z., Moosavi, S. A. A., Zarei, M., Nematollahi, M. A. 2026. Assessing the Status of Soil Biological and Fertility Indices in Calcareous Soils Under Various Land Uses in the Central and Northern Regions of Fars Province. Watershed Management Research. 38(4): 1-22.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.369171.1619

Received: 24 April 2025, **Received in revised form:** 09 July 2025, **Accepted:** 22 September 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol.38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp. 1-22.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



In this study, the normality of the data distribution was examined using the Kolmogorov-Smirnov statistical test. One-way analysis of variance (ANOVA) of the data was performed in a completely randomized design using the SPSS software. To the significance of the difference in the mean size of the studied soil properties among the considered land uses, the comparison of mean was also performed using Duncan's multiple range test at the probability level of 5%.

Results and Discussion

The results of this study showed that the difference in the manganese, copper, iron, organic matter, and basic soil respiration indices were significant among the studied land uses. The indices related to the amount of iron, copper, zinc, sodium, organic matter, and microbial respiration in agricultural lands were higher than in poor rangeland lands. The reason for this finding was the use of chemical fertilizers in these lands. Also, in lands with good vegetation cover, the amounts of organic matter and trace elements were higher due to the greater return of organic matter to the soil and the increased rate of organic matter decomposition. Also, in agricultural soils, due to the secretion of organic acids from the plant roots and formation of chelates with trace elements in the soil the solubility and absorbable form of these elements in the soil increased. In forest lands, more organic matter was stored in the soil as leaves and branches of the plant fell. While in other uses, the amount of organic matter returned to the soil was much lower. In other words, this change in the amount of organic matter in different land uses was related to the amount of input and removal of organic matter in each land use, such that in forest lands the amount of organic matter entering the soil is high and the amount of removal (exit) is lower. The highest amount of organic matter (3.45%) was observed in forest soil and the lowest amount of organic matter (1.64%) was found in rangelands with poor vegetation cover. This finding indicated the greater capacity of forest lands for carbon sequestration compared to lands of other land uses studied. Additionally, the highest soil microbial respiration was observed in agricultural (20.10 mg CO₂/g per day) and forest land (20.02 mg CO₂/g per day), and the lowest soil respiration was found in poor rangelands (12.40 mg CO₂/g per day), which was a function of organic matter change pattern. Soil respiration is a climate-dependent characteristic, and it is increased by high organic matter, the addition of new organic matter, and the diversity and abundance of microorganisms.

Conclusion and Suggestions

The results of the study of biological and soil fertility indicators in the various land uses studied showed that, in general, the type and change of land use and, as a result, changes in the conditions or methods of land management and management operations can significantly affect various indicators related to biological status and soil fertility. Therefore, ignoring the type of land can lead to a decrease in yield in the short term and ultimately to a loss of natural resource utilization in the long term. According to the results, poor rangeland lands, compared to other land uses, require more specific and well-documented management programs to restore them, prevent the process of destruction, reduce fertility and biological quality, and restore soil potential. In this regard, it is recommended that serious and continuous monitoring of vulnerable lands be carried out to examine the potential fertility and soil fertility, and to measure declining trend and the speed of loss of productive power. It is also suggested that, along with implementing coordinated and documented programs and raising public awareness, people's forces be utilized to protect the lands.

Keywords: Biological characteristics, land management, land use, micronutrients, organic matter, soil respiration

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The authors sincerely thank Shiraz University for all the needed support.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

All datasets and results are available in the manuscript.

Authors' Contribution

Author 1: Conceptualization, methodology, software/statistical analyses, writing - original draft preparation, formal analysis and investigation, and visualization

Author 2: Supervision, conceptualization, resources, manuscript editing, formal analysis and investigation, visualization

Author 3: Conceptualization, advisor, manuscript editing, and visualization

Author 4: Conceptualization, consulting, manuscript editing, and visualizatio



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌نخرداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و توسعه کشاورزی

شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی داده‌کاوی و الگوریتم ژنتیک NSGA-II در آبخوان شمیل - آشکارا، استان هرمزگان

حمید غلامی^{۱*}، مجتبی محمدی^۲، مریم زارع^۳، حوریه زحمتکش کارمی^۴، آرش جمشیدی^۵

- ۱- استاد گروه منابع طبیعی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
- ۲- استادیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده علوم محیطی، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران
- ۳- کارشناس ارشد گروه تحقیقات کاربردی شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان، بندرعباس، ایران
- ۴- کارشناس ارشد گروه پژوهش منابع آب زیری شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان، بندرعباس، ایران
- ۵- کارشناس ارشد گروه حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب میناب، میناب، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

منابع آب زیرزمینی به‌عنوان بخش بزرگی از منابع آب شیرین جهان، نقش حیاتی در تأمین نیازهای بشر و حفظ بوم‌نظام‌ها دارند. از سوی دیگر، بهره‌برداری بی‌رویه، تغییرات اقلیمی و آلودگی، این منابع ارزشمند را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. کاهش سطح آب، کاهش کیفیت و فرونشست زمین از جمله پیامدهای منفی برداشت بیش از حد آب زیرزمینی است. مدیریت مؤثر و پایدار این منابع، مستلزم پایش دقیق و ارزیابی مستمر وضعیت کمی و کیفی آنهاست. شبکه‌های پایش آب‌های زیرزمینی، با جمع‌آوری داده‌های مربوط به سطح و کیفیت آب، امکان ارزیابی وضعیت منابع و شناسایی مشکلات را فراهم می‌کند. از سوی دیگر، طراحی بهینه این شبکه‌ها، با توجه به محدودیت‌های هزینه‌ای و عملیاتی، چالش‌برانگیز است. هدف این پژوهش، بررسی و بهینه‌سازی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت شمیل-آشکارا در شمال شرقی استان هرمزگان با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و هوش مصنوعی، شامل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع دوم (NSGA-II) بود. در این پژوهش، افزون بر بررسی بهبود کارایی شبکه پایش و کاهش هزینه‌های مرتبط، مکان‌های بهینه برای ساخت چاه‌های مشاهده‌ای جدید نیز تعیین شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: hadesert64@gmail.com

استناد: غلامی، ح.، محمدی، م.، زارع، م.، زحمتکش کارمی، ح.، جمشیدی، ا. ۱۴۰۴. شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی داده‌کاوی و الگوریتم ژنتیک NSGA-II در آبخوان شمیل-آشکارا، استان هرمزگان. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۴): ۵۲-۲۳.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368522.1614

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۲۳ تا ۵۲.

© نویسندگان

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



مواد و روش ها

منطقه مطالعه شده، دشت شمیل-آشکارا در شمال شرقی استان هرمزگان، با مساحت $321/93$ کیلومترمربع، همراه با سازندهای زمین شناسی متنوعی (شامل بنگستان، آغا جاری، گچساران، آسماری، رازک، هرمز، گورپی، میشان و آبرفت های کواترن) بود. آبخوان مطالعه شده در سازندهای کواترن بود و کاربری زمین آن شامل مراتع فقیر، کشاورزی و مسکونی بود. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از روش AHP، مکان های مناسب برای ساخت چاه های مشاهده ای تعیین شد. هشت معیار شامل میانگین سطح آب زیرزمینی بلندمدت، نرخ کاهش سالانه، شیب تغییرات کاهش، تراکم چاه های بهره برداری، فاصله از رود، سازند زمین شناسی، کاربری زمین و فاصله از گسل در نظر گرفته شد. وزن هر معیار با استفاده از مقایسه های زوجی و نرم افزار Expert Choice محاسبه شد. سپس، با استفاده از نرم افزار ArcGIS، نقشه پایانی اولویت بندی مکان های مناسب تهیه شد. در گام بعد، شبکه پایش کنونی با نتایج مکان یابی مقایسه شد. با استفاده از شبکه های تیسن و محاسبه میانگین امتیازات مکان یابی در هر چندضلعی، چاه های کم اهمیت شناسایی شدند. برای اطمینان از صحت انتخاب، آزمون های همگنی داده ها روی چاه های کم اهمیت انجام شد. سپس، با استفاده از روش PCA، اهمیت نسبی چاه های پایش، تعیین شد. با حذف متوالی هر چاه و محاسبه ضریب همبستگی میان داده های چاه های باقی مانده و اولین مؤلفه اصلی ($PC1$)، اهمیت نسبی هر چاه محاسبه شد. همچنین، نبودن قطعیت ناشی از حذف چاه های کم اهمیت با استفاده از میانگین ضریب تغییرات سطح آب زیرزمینی ارزیابی شد. برای بررسی اثر حذف چاه های کم اهمیت بر خطای درون یابی، از روش کریجینگ استفاده شد. دو سناریو شامل استفاده از تمام چاه ها و حذف چاه های کم اهمیت بررسی شد و خطای استاندارد و RMSE محاسبه شد. در پایان، با استفاده از الگوریتم NSGA-II، شبکه بهینه چاه های مشاهده ای تعیین شد. دو تابع هدف شامل تعداد چاه های مشاهده ای و RMSE سطح آب زیرزمینی کمینه شدند. روش IDW برای برآورد سطح آب زیرزمینی در چاه های حذف شده استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج AHP نشان داد که بیشترین اولویت ساخت چاه مشاهده ای به دلیل تمرکز فعالیت های کشاورزی، تراکم زیاد چاه ها و کاهش شدید سطح آب مربوط به مناطق جنوبی و جنوب شرقی بود. در این تحلیل، بیشترین اهمیت مربوط به معیار تراکم چاه های بهره برداری با وزن $0/327$ بود و پس از آن معیار کاهش سطح آب زیرزمینی ($0/245$) و کاربری زمین ($0/15$) بودند. نرخ ناسازگاری $0/04$ محاسبه شد که نشان دهنده سازگاری مناسب قضاوت های خبرگان بود. مقایسه شبکه پایش کنونی با نتایج AHP نشان داد که پنج چاه ($W16$ و $W14$ ، $W12$ ، $W9$ ، $W7$) با میانگین امتیاز مکان یابی کمتر از $0/113$ از دیدگاه موقعیت مکانی نامناسب بودند. آزمون های همگنی داده ها با استفاده از روش Pettitt و p -value کمتر از $0/05$ نیز بیانگر نبودن همگنی داده های این چاه ها بود. نتایج PCA نشان داد که چاه های کم اهمیت شناسایی شده با این روش ($W21$ ، $W18$ ، $W10$ ، $W8$) با ضریب های همبستگی کمتر از $0/20$ ، با چاه های شناسایی شده با روش AHP متفاوت بودند که این تفاوت به دلیل تفاوت ساختار و داده های ورودی دو روش بود. زیرا، در روش PCA صرفاً از داده های سطح آب استفاده می شود، اما در روش AHP معیارهای بیشتری در نظر گرفته می شود. بررسی نتایج کریجینگ نشان داد که حذف چاه های کم اهمیت بر اساس AHP منجر به کاهش خطای استاندارد درون یابی از میانگین $4/8$ به $4/2$ متر شد. همچنین، حذف چاه ها بر اساس PCA باعث افزایش این خطا از $4/8$ به $3/5$ متر شد. از سوی دیگر، در هر دو روش، حذف چاه های کم اهمیت باعث افزایش RMSE شد. در روش AHP ریشه میانگین مربعات خطا، از $14/22$ به $17/08$ متر ($20/1$ ٪ افزایش) و در روش PCA از $14/22$ به $14/41$ متر ($1/3$ ٪ افزایش) یافت. الگوریتم NSGA-II برای شبکه پایش، پیکربندی بهینه ای ۱۶ چاهی را پیشنهاد داد که در مقایسه با شبکه اولیه ۲۸ چاهی، 43 ٪ در تعداد چاه ها کاهش مشاهده شد. افزون بر این، RMSE فقط $3/7$ ٪ (از $14/22$ به $15/26$ متر) افزایش یافت. ضریب تغییرات سطح آب زیرزمینی در شبکه بهینه $0/89$ محاسبه شد که نزدیک

به اندازه آن در شبکه اصلی (۰/۹۲) بود. این یافته نشان دهنده حفظ اطلاعات مهم آب زمین شناختی در شبکه کاهش یافته بود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

روش AHP برای تعیین مکان های بهینه چاه های مشاهده ای کارآمد بود و استفاده از آن در سایر دشت ها نیز توصیه می شود. همچنین، پیشنهاد می شود برای بهبود کارایی این روش، از متغیرهای دیگر و خروجی مدل های آب زیرزمینی استفاده شود. افزون بر این، استفاده از روش های PCA و NSGA-II سبب بهینه سازی شبکه های پایش خواهد شد.

واژگان کلیدی

آب زیرزمینی، شبکه پایش، AHP، دشت شمیل-آشکارا، هرمزگان

مقدمه

ماشین بردار پشتیبان (SVM^2) (مک کالوچ و پیت ۱۹۴۳)، شبکه های عصبی مصنوعی (ANN^3) (روزنبلات ۱۹۵۸)، ساختار استنتاج عصبی-فازی تطبیقی ($ANFIS^4$) (جانگ ۱۹۹۳)، واپازی بردار پشتیبان (SVR^5) (دراکر و همکاران ۱۹۹۷) و شبکه های بیزی^۶ (پیپر ۱۹۸۸)، امکان پیش بینی GWL را با تکیه بر داده های محدودتر فراهم ساخته اند. پایش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. زیرا، آب زیرزمینی به عنوان واسطه انتقال آلاینده ها عمل می کند (ال هاشمی و همکاران ۲۰۲۱؛ سینگا و ناوار-سیچلر ۲۰۲۲).

شبکه های پایش سطح آب زیرزمینی (GLMNs) برای مدل سازی و مدیریت آب های زیرزمینی ضروری می باشند. در بسیاری از مناطق، پایش نشدن، به دلیل محدودیت های مالی یا نبودن روش های کمی برای مکان یابی چاه های پایش است. در زمینه بهینه سازی شبکه های پایش آب اقلیمی، رویکردهای متنوعی توسعه یافته اند. روش های آماری سنتی شامل روش های تحلیل همبستگی (میشرا و کولیبالی ۲۰۰۹)، تحلیل خوشه ای (گونگ و همکاران ۲۰۱۶)،

منابع آب زیرزمینی به عنوان بخش بزرگی از منابع آب شیرین قابل دسترس جهان (۹۶/۳٪)، نقش حیاتی در تأمین نیازهای جامعه های بشری و حفظ و پایداری بوم نظام ها دارند (فائو ۲۰۲۱). از سوی دیگر، بهره برداری بی رویه و رو به افزایش از این منابع، همراه با چالش های ناشی از تغییرات اقلیمی و آلودگی منابع آب سطحی (لیو و همکاران ۲۰۲۲)، منجر به بروز مشکلات جدی در سطح جهانی شده است. برداشت بیش از حد آب زیرزمینی، فشار چند برابری بر این منابع وارد کرده است. پیامدهای این پدیده شامل کاهش سطح آب، کاهش کیفیت، خشک شدن چاه ها و فرونشست زمین است (کومار و همکاران ۲۰۲۲). در مواجهه با چالش های رو به افزایش مربوط به منابع آب زیرزمینی، ارزیابی دقیق و مدیریت پایدار این منابع، ضرورت اجتناب ناپذیری است. پیش بینی دقیق سطح آب زیرزمینی (GWL)، به عنوان یک شاخص مهم، مستلزم درک و کمی سازی روابط پیچیده و غیرخطی میان متغیرهای زمین محیطی است (چن و همکاران ۲۰۲۲). مدل های سنتی مبتنی بر فیزیک، مانند MODFLOW (هانگ و همکاران ۲۰۲۱)، اگرچه در شبیه سازی فرایندهای جریان آب زیرزمینی کارآمد بودند، اما اغلب نیازمند داده های ورودی گسترده و سنجه های آب زمین شناختی دقیق بودند. در مقابل، روش های یادگیری ماشین (ML^1) (بند کوکی و همکاران ۲۰۲۰)، با بهره گیری از الگوریتم هایی مانند

2- Support Vector Machine

3- Artificial Neural Networks

4- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

5- Support Vector Regression

6- Bayesian Networks

1- Machine Learning

تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) (نوهار و همکاران ۲۰۱۴) و آنتروپی اطلاعات (آلفونسو و همکاران ۲۰۱۰) برای کاهش افزونگی در شبکه های پایش بارش و رواناب استفاده شده اند. روش های زمین آماری مانند کریجینگ (یه و همکاران ۲۰۰۸) و کریجینگ با پراکنش برآورد کمینه (MEK) (چن و همکاران ۲۰۱۷) به طور گسترده برای بهینه سازی شبکه های هواشناسی و آب سنجی به کار گرفته شده اند. در سال های گذشته، الگوریتم های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) (فارزین و همکاران ۲۰۱۸) و الگوریتم های چندهدفه مانند NSGA-II (وانگ و همکاران ۲۰۱۵) برای طراحی شبکه های پایش آب اقلیمی با در نظر گرفتن معیارهای پرشمار، استفاده شده اند. همچنین، رویکردهای ترکیبی که روش های آماری را با الگوریتم های بهینه سازی ادغام می کنند، مانند ترکیب PCA و الگوریتم ژنتیک (کاسترو و همکاران ۲۰۱۹) یا آنتروپی اطلاعات و PSO (حسین و همکاران ۲۰۲۱)، نتایج مطلوبی در بهینه سازی شبکه های پایش بارش، دما و رطوبت ارائه داده اند.

در آبخیز پایش کیفیت آب، رویکردهای متنوعی برای تعیین تعداد بهینه ایستگاه ها توسعه یافته است. روش های مبتنی بر تصمیم گیری چندمعیاره مانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (کارماکار و همکاران ۲۰۱۸) و روش ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) (ژانگ و همکاران ۲۰۱۶) برای انتخاب مکان های بهینه نمونه برداری با در نظر گرفتن معیارهای پرشمار زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی استفاده شده اند. روش های آماری چندمتغیره مانند تحلیل تشخیصی (DA) (اوتیرو و همکاران ۲۰۱۰) و تحلیل عاملی (FA) (سینگ و همکاران ۲۰۱۳) برای شناسایی متغیرهای کیفی آب با اهمیت بیشتر و کاهش تعداد سنجه های پایش شده به کار رفته اند. روش های بهینه سازی شبکه ای مانند نظریه نمودار (پارک و همکاران ۲۰۱۴) و الگوریتم های مسیریابی (لی و همکاران ۲۰۱۲) برای طراحی شبکه های پایش با پوشش مکانی مناسب استفاده

شده اند. همچنین، رویکردهای مبتنی بر مدل سازی عددی مانند شبیه سازی مونت کارلو (استروبل و همکاران ۲۰۱۶) و مدل های انتقال-انتشار آلاینده (مالیک و همکاران ۲۰۱۹) برای تعیین مکان های بهینه پایش کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی باهدف تشخیص به موقع آلودگی ها استفاده شده اند. در سال های گذشته، رویکردهای یادگیری ماشین مانند شبکه های عصبی مصنوعی (بلال و همکاران ۲۰۱۸) و جنگل های تصادفی (کاراکایا و همکاران ۲۰۲۰) نیز برای پیش بینی سنجه های کیفی آب و بهینه سازی شبکه های پایش به کار گرفته شده اند. همچنین، رویکرد یادگیری ماشین (ML) به طور گسترده در مدل سازی آب های زیرزمینی استفاده شده است (ال بلالی و همکاران ۲۰۲۱)؛ پودگورسکی و برگ (۲۰۲۰). استفاده از روش های ML در طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی، یک آبخیز پژوهشی نسبتاً جدید در دهه های گذشته است (کونتوس و همکاران ۲۰۲۲؛ لی و همکاران ۲۰۲۵). در راستای بهینه سازی شبکه های پایش سطح آب زیرزمینی (GLMN)، پژوهشگران پرشماری رویکردهای مبتنی بر یادگیری ماشین را بررسی کرده اند. با توجه به اهمیت شبکه های پایش سطح آب زیرزمینی، پژوهش های زیادی برای تعیین بهینه تراکم و توزیع مکانی چاه های مشاهده ای انجام شده است. روش های گوناگونی مانند روش های آب زمین شناختی، زمین آماری، مدل سازی و تصمیم گیری چندمعیاره برای این منظور پیشنهاد شده است. تعیین بهینه شبکه چاه مشاهده ای برای پایش سطح آب زیرزمینی، یکی از چالش های مهم در مدیریت منابع آب است. با استفاده از روش های آب زمین شناختی و با استفاده از مفاهیم پایه آب زمین شناسی، معیارهایی برای تعیین تراکم و توزیع مکانی چاه های مشاهده ای ارائه شده است. در این راستا، پیتر (۱۹۷۲) و هیث (۱۹۷۶) طبقه بندی هایی برای شبکه های پایش سطح آب زیرزمینی پیشنهاد داده اند. با بهره گیری از روش های زمین آماری، به ویژه کریجینگ، و با استفاده از داده های موجود، مدل هایی از تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی ایجاد شده و

نقاط مناسب برای حفر چاه های مشاهده ای جدید، شناسایی می شود. از سوی دیگر، این روش ها به حجم زیادی از داده نیاز دارند. مدل های عددی نیز برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی و تعیین حساسیت مدل به تغییرات سنجه های ورودی، استفاده شده اند (یانگ شیائو و همکاران ۱۹۹۱).

تراکم مناسب شبکه های چاه مشاهده ای، تابعی از عامل های پرشماری از جمله سنجه های آب زمین شناختی منطقه، اهداف پایش و محدودیت های منابع است. پژوهش های پیشین، تراکم های متفاوتی را پیشنهاد کرده اند. در این راستا، حسینی عرب (۲۰۰۲) تراکم ۴ حلقه چاه مشاهده ای در هر ۱۰۰ کیلومترمربع را برای ایران مناسب دانسته است. ایجاد و نگهداری شبکه های پایش سطح آب زیرزمینی، ابزاری ضروری برای مدیریت پایدار منابع آب به شمار می آید و انتخاب نوع شبکه و تراکم چاه های مشاهده ای باید بر اساس اهداف پژوهش، شرایط آب زمین شناختی و منابع موجود، انجام شود. طراحی بهینه شبکه های پایش آب زیرزمینی، به ویژه شبکه های چاه مشاهده ای، برای مدیریت پایدار منابع آب و ارزیابی دقیق مدل های آب زمین شناختی اهمیت زیادی دارد. در این راستا، پژوهشگران روش های متنوعی را پیشنهاد کرده اند. مک کینی و لوکس (۱۹۹۲) با توسعه یک الگوریتم طراحی شبکه، قابلیت پیش بینی مدل های آب زیرزمینی را بهبود دادند. یانگ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از انحراف معیار کریجینگ، تراکم بهینه چاه های مشاهده ای برای تعیین سطح آب زیرزمینی را ارزیابی کردند. دوکو و پیندر (۲۰۰۹) با رویکردی متفاوت، الگوریتمی برای شناسایی منابع آلودگی با حداقل تعداد نمونه ارائه دادند. هودک (۲۰۰۶) با بهره گیری از شبیه سازی مونت کارلو، محل بهینه چاه ها در مناطق دفن زباله را تعیین کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تعیین محل و تراکم بهینه چاه های مشاهده ای، موضوعی پیچیده و چندوجهی است که نیازمند در نظر گرفتن عامل های مختلفی از جمله آب زمین شناسی منطقه، اهداف پایش و محدودیت های بودجه ای است.

همچنین، میرزایی ندوشن و همکاران (۲۰۱۷) با ترکیب روش های کریجینگ و بهینه سازی چندهدفه NSGA-II^۷، شبکه بهینه چاه های مشاهده ای در دشت اشتهارد را طراحی کردند. ران و همکاران (۲۰۱۵) با بهره گیری از الگوریتمی ترکیبی، شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی کشاورزی را در منطقه ژانگی چین تعیین کردند. در پژوهشی آلبرت و همکاران (۲۰۰۴) بر اهمیت پایش آب های زیرزمینی و انواع داده های لازم برای مدیریت این منابع تأکید کردند. سما و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از آزمون گاما، شبکه بهینه چاه های مشاهده ای پایش کیفیت آب زیرزمینی را در جزیره کیش تعیین کردند. اسکویول و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بهره گیری از روش تصمیم گیری چندهدفه، شبکه بهینه پایش سطح آب زیرزمینی در مکزیک را طراحی کردند. در این پژوهش، معیارهایی همچون حداقل سازی خطای برآورد، حداقل کردن تعداد چاه ها، تغییرات زمانی سطح آب، شیب آبی و تراکم چاه ها به عنوان عامل های مؤثر در طراحی شبکه چاه مشاهده ای، معرفی شد. از سوی دیگر، آبخوان های ساحلی، به عنوان منابع حیاتی آب شیرین، به طور فزاینده ای در معرض آلودگی و کاهش ذخایر به دلیل عامل هایی مانند نفوذ آب شور، برداشت بی رویه و تغییرات آب و هوایی، هستند. مدیریت مؤثر این منابع حیاتی مستلزم شبکه های پایش قوی است که داده های کمی و کیفی قابل اعتمادی را فراهم کنند. در این راستا، رویکردهای سنتی پایش، اغلب دچار محدودیت های مکانی و زمانی هستند. این موضوع منجر به جمع آوری داده های اضافی یا ناکافی می شود. برای رفع این چالش ها، نیاز مبرمی به بهینه سازی شبکه های پایش موجود با به کارگیری روش های پیشرفته داده کاوی است. با تجزیه و تحلیل داده های پایش تاریخی، این روش ها می توانند سنجه های مهم را شناسایی، مکان های نمونه برداری را بهینه و کارایی و اثربخشی کلی پایش آبخوان را بهبود بخشند که در پایان منجر به شیوه های مدیریت آگاهانه تر و پایدارتر می شود.

دقت پایش و کاهش هزینه‌ها، ۵) ارائه یک شبکه مؤثر پایش بهینه‌شده کمی و کیفی آب زیرزمینی برای آبخوان شمیل-آشکارا، ۶) ارزیابی اندازه کاهش هزینه‌های پایش و بهبود دقت داده‌های جمع‌آوری شده در شبکه بهینه‌شده در مقایسه با شبکه موجود، انجام شد. در این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد نوآورانه ترکیب روش‌های داده‌کاوی و الگوریتم ژنتیک چندهدفه NSGA-II، شبکه پایش کارآمدتری برای آبخوان شمیل-آشکارا در شمال شرقی استان هرمزگان، طراحی شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه‌شده

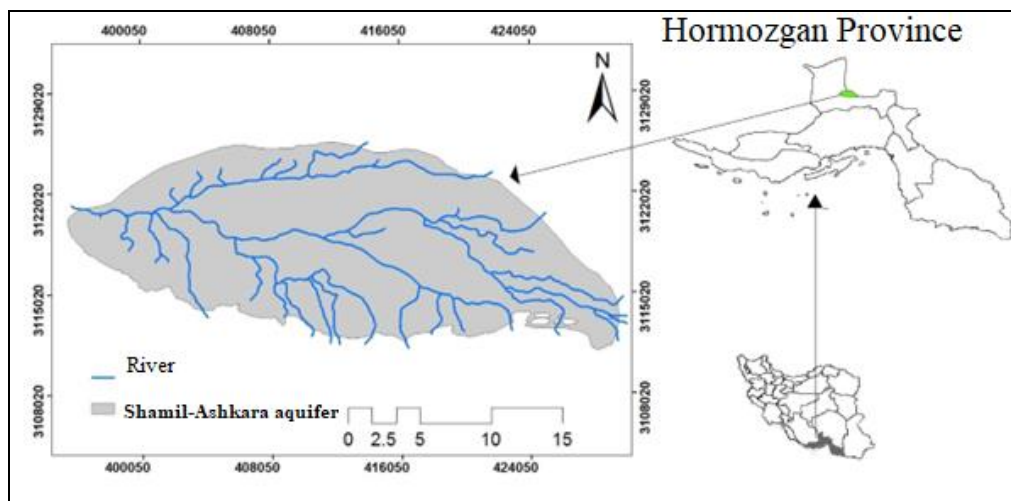
دشت شمیل-آشکارا، از دیدگاه تقسیمات کشوری در شمال شرقی استان هرمزگان، شمال شهرستان حاجی‌آباد است. مساحت منطقه مطالعه‌شده ۳۲۱/۹۳ کیلومتر مربع است. سازندهای زمین‌شناسی در آبخیزهای بالادست این منطقه شامل بنگستان، آغاچاری، گچساران، آسماری، رازک، هرمز، گورپی، میشان و در دشت، آبرفت‌های دوران کواترنر است. این آبخوان در سازندهای کواترنر بوده و سازندهای کنگلومرای بختیاری و آغاچاری آن را احاطه کرده‌اند. بخش بزرگی از منطقه مطالعه‌شده در سازندهای دوره کواترنر است. میانگین بارندگی این دشت کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال است. همچنین، اندازه تبخیر سالانه ۲۶۴۰ میلی‌متر است (تارا و بذرافشان ۲۰۲۳) (شکل ۱).

روش پژوهش

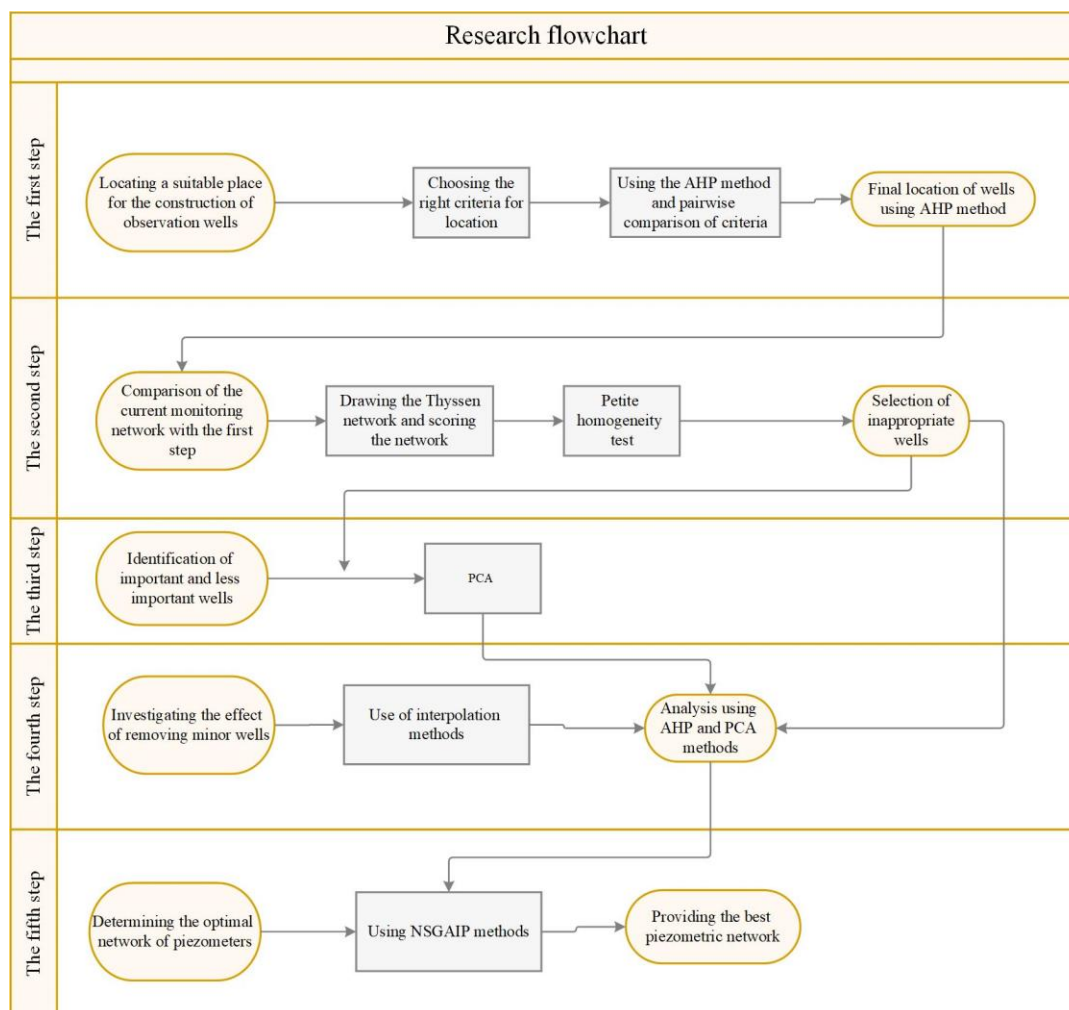
نمودار کارنمای پژوهش در شکل ۲ نشان‌داده شده است.

نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که روش‌های متنوعی برای بهینه‌سازی شبکه‌های پایش آب زیرزمینی توسعه یافته‌اند. روش‌های آب‌زمین‌شناختی (پیتز ۱۹۷۲؛ هیت ۱۹۷۶) بر مبنای اصول پایه آب‌زمین‌شناسی استوار بوده، اما بدون رویکرد کمی برای تعیین دقیق موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای هستند. روش‌های زمین‌آماري مانند کریجینگ (یانگ و همکاران ۲۰۰۸) امکان کمی‌سازی خطای برآورد را فراهم می‌کنند، اما نیازمند حجم زیادی از داده‌های اولیه هستند. رویکردهای مبتنی بر مدل‌های عددی (یانگ شیائو و همکاران ۱۹۹۱) قابلیت شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی را دارند، اما محاسبات پیچیده‌ای زیادی دارند. در سال‌های گذشته، روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه (میرزایی‌ندوشن و همکاران ۲۰۱۷؛ اسکویول و همکاران ۲۰۱۵) و روش‌های داده‌کاوی (سما و همکاران ۲۰۲۰) استفاده شده‌اند، اما کمتر به ترکیب این روش‌ها با الگوریتم‌های فراابتکاری مانند NSGA-II توجه شده است. همچنین، در بیشتر پژوهش‌های پیشین یا به جنبه کمی (سطح آب) یا به جنبه کیفی آب‌های زیرزمینی توجه شده و کمتر بهینه‌سازی هم‌زمان شبکه پایش از هر دو دیدگاه بررسی شده است.

ازاین‌رو، با توجه به شکاف‌های پژوهشی موجود، این پژوهش با اهداف: ۱) ارزیابی کارایی شبکه چاه مشاهده‌ای موجود در آبخوان ساحلی شمیل-آشکارا با استفاده از شاخص‌های آماری و زمین‌آماري، ۲) شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در منطقه با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، ۳) تعیین وزن معیارهای مؤثر در مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، ۴) توسعه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر الگوریتم NSGA-II برای تعیین تعداد و موقعیت بهینه چاه‌های مشاهده‌ای با هدف هم‌زمان افزایش



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده.
Figure 1- Geographical location of the study area.



شکل ۲- نمودار کارنمای مراحل بهینه‌سازی شبکه پایش آب‌های زیرزمینی در دشت شمیل-آشکارا.
Figure 2- Flowchart of steps for optimizing groundwater monitoring network in Shamil-Ashkara plain.

گام های انجام پژوهش

گام اول: مکان یابی محل مناسب برای ساخت چاه های مشاهده ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در این پژوهش، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تعیین مکان های مناسب برای ساخت چاه های مشاهده ای استفاده شد. روش AHP که در سال ۱۹۸۰ به وسیله آل ساعتی ارائه شد. استفاده از این روش در تعیین وزن انواع نقشه های موضوعی، بسیار اهمیت دارد (گوتام و همکاران ۲۰۲۳). افزون بر این، از این روش برای تصمیم گیری چندمعیاره در موضوع های گوناگون زیست محیطی و پژوهش های مربوط به آب های زیرزمینی استفاده فراوانی شده است (شلار و همکاران ۲۰۲۲). روش AHP، یک روش تصمیم گیری چندمعیاره است که امکان اولویت بندی

معیارها و گزینه ها را بر اساس قضاوت های کارشناسی فراهم می کند. در این روش، ساختار سلسله مراتبی مسئله شامل هدف، معیارها و گزینه ها، به شکل گرافیکی نمایش داده می شود. سپس، با استفاده از مقایسه های زوجی و محاسبه بردار ویژه، وزن نسبی هر معیار و گزینه تعیین می شود. در این پژوهش، برای انجام مقایسه های زوجی، از مقیاس عددی ۱ تا ۹ (جدول ۱) استفاده شد (جی و همکاران ۲۰۰۰). در پایان، از مقایسه انجام شده، ماتریس باینری به دست آمد. سپس، وزن معیارها که اعدادی نسبی بودند، با قضاوت هایی به شکل شفاهی، عددی یا گرافیکی انجام شده، به دست آمد (زرکش و همکاران ۲۰۰۵).

جدول ۱- اندازه های عددی قضاوت های شفاهی برای انجام مقایسه های زوجی.

Table 1- Numerical Values for Verbal Judgments in Pairwise Comparisons

Verbal Judgment	Numerical Value
Absolutely preferred/Absolutely more important/Absolutely more desirable	9
Very strongly preferred/Very strongly more important/Very strongly more desirable	7
Strongly preferred/Strongly more important/Strongly more desirable	5
Moderately preferred/Moderately more important/Moderately more desirable	3
Equally preferred/Equally important/Equally desirable	1
Intermediate values between adjacent judgments	2, 4, 6, 8

انتخاب معیارهای مناسب برای مکان یابی

انتخاب معیارهای مرتبط و تأثیرگذار، گام اساسی در فرایند مکان یابی است (کومار و همکاران ۲۰۲۰). در این پژوهش، معیارهای اولیه با بررسی منابع علمی (سینگ و همکاران ۲۰۱۹؛ زو و همکاران ۲۰۱۶)، دستورالعمل های وزارت نیرو (وزارت نیرو ۲۰۱۷) و دیدگاه های متخصصان آب زیرزمینی جمع آوری شد. سپس، با استفاده از روش تحلیل مؤلفه های اصلی که به وسیله جولیف (۲۰۰۲) معرفی شده است، معیارهای پایانی انتخاب شدند.

در پایان، ۸ معیار: میانگین سطح آب زیرزمینی در بلندمدت، میانگین سالانه کاهش آب زیرزمینی در بلندمدت، شیب تغییرات اندازه کاهش، تراکم چاه های

بهره برداری، فاصله از رود، سازند زمین شناسی، کاربری زمین و فاصله از گسل (یانگ و همکاران ۲۰۱۸؛ ماچیوال و همکاران ۲۰۱۵) بر اساس نبودن قنات و چشمه در منطقه مطالعه شده برای مکان یابی چاه های مشاهده ای انتخاب شدند.

محاسبه نرخ ناسازگاری

پس از تشکیل ماتریس های مقایسه های زوجی، نرخ ناسازگاری (CR^8) با استفاده از نرم افزار Expert Choice محاسبه شد. اندازه قابل قبول ناسازگاری (CR) معمولاً کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته می شود. اگر

8- Consistency Ratio

9- <https://www.expertchoice.com/>

شاخص محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد، نتایج قابل قبول و در غیر این صورت دوباره در وزن دهی تجدید نظر می شود (ساعتی ۱۹۸۰؛ ساعتی و وارگاس ۲۰۱۲).

مکان یابی پایانی به وسیله مدل AHP

مدل سلسله مراتبی مد نظر در نرم افزار Expert Choice⁹ ساخته شد. مقایسه های زوجی معیارها بر اساس پژوهش های پیشین، دستورالعمل های وزارت نیرو و دیدگاه های کارشناسان انجام شد. وزن هر معیار به وسیله نرم افزار محاسبه شد. در ادامه برای وزن دهی و ترکیب پایانی لایه های مختلف از نرم افزار ArcGIS استفاده شد. با انجام مراحل نامبرده، مکان های بهینه برای ساخت چاه های مشاهده ای شناسایی شدند (ماچیوال و همکاران ۲۰۱۱؛ جها و همکاران ۲۰۱۶).

گام دوم: مقایسه شبکه پایش کنونی با نتایج گام اول

پس از انجام مکان یابی، عملکرد شبکه پایش موجود با نتایج مکان یابی مقایسه شد. برای این ارزیابی، ابتدا منطقه مطالعه شده بر اساس موقعیت چاه های موجود به چندضلعی های تیسن تقسیم بندی شد. سپس، میانگین امتیازات مکان یابی (که از مدل AHP به دست آمده بودند) در هر چندضلعی تیسن محاسبه شد. برای هر چاه و هر چندضلعی، چاه هایی که میانگین امتیاز کمتر از ۰/۳ داشتند به عنوان چاه های نامناسب در نظر گرفته شدند. سپس، برای اطمینان از انتخاب درست چاه های نامناسب از آزمون های همگنی داده ها استفاده شد. برای این کار ابتدا داده های ماهانه چاه های نامناسب تهیه و سپس نواقص آماری آن ها با همبستگی و وایزی برطرف شد و در پایان از دو روش آزمون همگنی شامل روش پتییت و روش بهنجار استاندارد یا SNHT¹⁰ برای انجام آزمون همگنی بهره برده شد. در این آزمون ها در شرایطی که p-value مشاهده شده کمتر از سطح معنی داری ۰/۰۵ باشد، داده ها غیر همگن می باشند.

گام سوم: تعیین اهمیت چاه ها با تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی

برای تعیین اهمیت نسبی چاه های پایش و کاهش ابعاد داده ها، از تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) استفاده شد. این روش، پراکنش داده های سطح آب را به مؤلفه های اصلی (PCs) تجزیه می کند، به طوری که اولین مؤلفه (PC1) بیشترین پراکنش را توجیه می کند. اهمیت نسبی هر چاه با استفاده از ضریب همبستگی میان داده های مشاهده شده آن چاه و مؤلفه های اصلی، به ویژه PC1، محاسبه شد (سانچز - مارتوس و همکاران ۲۰۰۱).

مراحل تعیین اهمیت نسبی چاه ها

a- تشکیل ماتریس داده ها: برای هر دشت، از داده های ۳۱ مشاهده آخر سطح آب ماتریس تشکیل شد. ابعاد ماتریس ها به ترتیب برای دشت های فتوئیه-تدروئیه، جغین-توکهور و گهکم-سعادت آباد، ۳۱×۳۱، ۳۰×۳۰ و ۴۰×۴۰ بود.

b- انجام PCA: برای هر چاه، با حذف داده های خود چاه و انجام PCA بر روی داده های چاه مجاور، ضریب همبستگی آن چاه با PC1 محاسبه شد.

c- محاسبه اهمیت نسبی: میانگین ضریب های همبستگی هر چاه، اهمیت نسبی آن را نشان می دهد. برای تعیین اهمیت نسبی هر چاه از رابطه (۱) استفاده شد.

$$\text{Relative important} = N/n \quad (1)$$

N: تعداد دفعاتی است که هر چاه به عنوان چاه مؤثر در نظر گرفته می شود و n تعداد دفعاتی است که هر چاه در تجزیه شرکت کرده است. هر چه اهمیت نسبی یک چاه بیشتر باشد، تأثیر آن بر پایش بیشتر است.

d- ارزیابی نبودن قطعیت: برای ارزیابی تأثیر حذف چاه های کم اهمیت بر دقت پایش، میانگین سالانه ضریب تغییرات (CV) سطح آب زیرزمینی محاسبه شد. CV برای هر سال با استفاده از نسبت انحراف معیار به میانگین سطح آب در چاه های انتخاب شده محاسبه و سپس میانگین سالانه CV به دست آمد. تغییر CV پس از حذف چاه ها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (رهنما و همکاران ۲۰۲۱).

پژوهش‌های مختلف برای بهینه‌سازی شبکه‌های پایش آب زیرزمینی استفاده شده است (میرزایی‌ندوشن و همکاران ۲۰۱۹؛ کماسی و گودرزی ۲۰۲۱).

در این پژوهش، الگوریتم NSGA-II برای یافتن جبهه پارتو (Pareto front) به کار گرفته شد. جمعیت اولیه شامل ۴۰ کروموزوم بود. هر کروموزوم، شامل ۲۸ ژن با کد باینری (۰ و ۱) بود که حضور (۱) یا حضور نداشتن (۰) هر چاه در شبکه بهینه را نشان می‌داد. دو تابع هدف برای ارزیابی کروموزوم‌ها استفاده شدند:

A- تعداد چاه‌های بهینه: هدف، کاهش تعداد چاه‌ها برای کاهش هزینه‌های ساخت، نگهداری و بازدید بود.
B- RMSE سطح ایستایی: برای ارزیابی دقت شبکه، RMSE میان اندازه‌های مشاهده‌ای و برآوردی سطح ایستایی محاسبه شد. برای برآورد سطح ایستایی در چاه‌های حذف‌شده، از روش عکس فاصله (رابطه ۴) با توان ۲ استفاده شد.

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^s z_i \frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_i^k}} \quad (4)$$

Z_0 : اندازه‌های برآوردی در نقطه مد نظر، z_i : اندازه‌های مشاهده‌ای در نقطه i ، d_i : فاصله میان نقطه مد نظر و چاه مشاهده‌ای i ، s : تعداد نقاط مشاهده‌ای و k : اندازه توان رابطه است که معمولاً برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود.

پس از محاسبه توابع هدف، کروموزوم‌ها بر اساس غلبه نداشتن و فاصله ازدحام رتبه‌بندی شدند. سپس، عملگرهای ترکیب (با نرخ ۰.۸۰) و جهش (با نرخ ۰.۳۰) روی کروموزوم‌های والد اعمال شدند. جمعیت جدید شامل والدین و فرزندان مجدداً رتبه‌بندی شدند و این فرآیند تا ۲۰۰۰ تکرار ادامه یافت. جمعیت پایانی شامل کروموزوم‌های غیرغالب (جبهه پارتو) بود که شبکه‌های بهینه با توازن مناسب میان تعداد چاه‌ها و دقت را نشان می‌دادند.

$$Error = \frac{cv_m - cv_{m0}}{cv_{m0}} \times 100 \quad (2)$$

CV_m : میانگین ضریب تغییرات پس از حذف چاه‌ها و CV_{m0} : میانگین ضریب تغییرات اولیه است.

گام چهارم: بررسی اثر حذف چاه‌های کم‌اهمیت بر خطای درون‌یابی

در این مرحله از پژوهش برای مشخص کردن اندازه خطای درون‌یابی پس از حذف چاه‌های کم‌اهمیت از روش کریجینگ استفاده شد. کریجینگ، روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای داده‌هایی با روندهای موضعی تعریف شده، مناسب است. این روش با کمترین پراکنش برآورد، درون‌یابی می‌کند و اندازه خطای آن تابع مشخصات واریوگرام (ساختار فضایی) است (ایزاکس و سریواستاوا ۱۹۸۹) مدل کریجینگ مبتنی بر میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و رابطه کلی آن به شکل رابطه ۳ است.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

$Z^*(X_i)$: عیار برآوردی، λ_i : وزن ایستگاه i ام و $Z(X_i)$: اندازه متغیر اندازه‌گیری شده است (کرسی ۱۹۹۳).

بعد از انتخاب بهترین واریوگرام، چاه‌ها درون‌یابی شدند که این کار در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، با استفاده از تمام چاه‌ها درون‌یابی انجام شد و در مرحله دوم چاه‌های با اهمیت نسبی پایین (کمتر از حد آستانه تعیین شده) حذف شدند و دوباره درون‌یابی انجام شد. سپس، آماره خطای RMSE برای درون‌یابی متفاوت محاسبه و درصد کاهش یا افزایش خطا با حذف چاه‌های کم‌اهمیت مشخص شد.

گام پنجم: تعیین چاه‌های مهم و انتخاب آنها با استفاده از روش فراکاوشی NSGAII

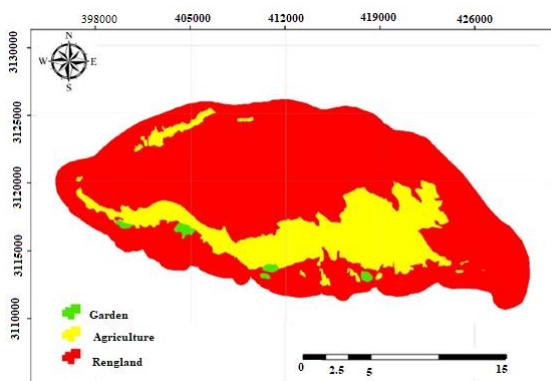
برای تعیین شبکه بهینه چاه‌های مشاهده‌ای، از الگوریتم فراابتکاری (NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) استفاده شد. این الگوریتم، یک روش بهینه‌سازی چندهدفه است که در

نتایج و بحث

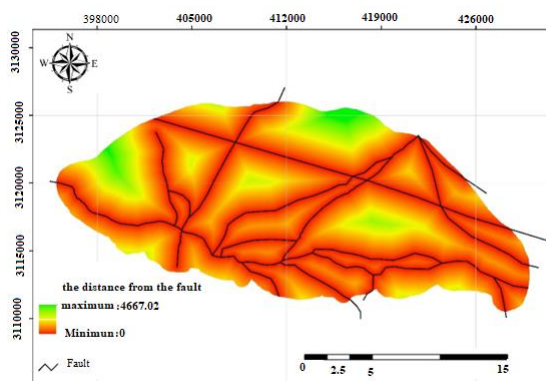
نتایج گام اول

مکان‌یابی محل مناسب برای ساخت چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و نتایج شناسایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی بهینه چاه‌های مشاهده‌ای در محدوده آبخوان شمیل-آشکارا و نقشه‌های مربوط به هر معیار در شکل ۴ ارائه شده است. تحلیل این نقشه‌ها نشان داد که تمرکز گسل‌ها عمدتاً در جنوب منطقه مطالعه شده و منطبق با مناطق کشاورزی و روستایی بود (شکل ۴الف). نقشه کاربری زمین نشانگر غالب بودن مراتع فقیر در منطقه بود (شکل ۴ب). همچنین، کاربری کشاورزی بیشتر در قسمت جنوبی متمرکز بود. از دیدگاه زمین‌شناسی بیشترین مساحت مربوط به سازندهای Qal و Qt بود و اکثر آبخوان‌ها در این سازندها تشکیل شده‌اند (شکل ۴پ). بررسی نقشه کاهش سطح آب زیرزمینی بیانگر بیشترین کاهش در مناطق جنوب‌شرقی و شرق آبخیز بود (شکل ۴ت).

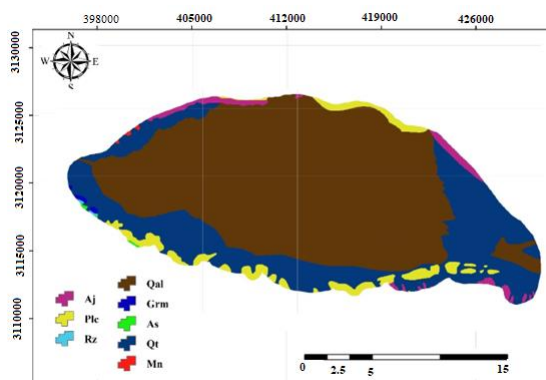
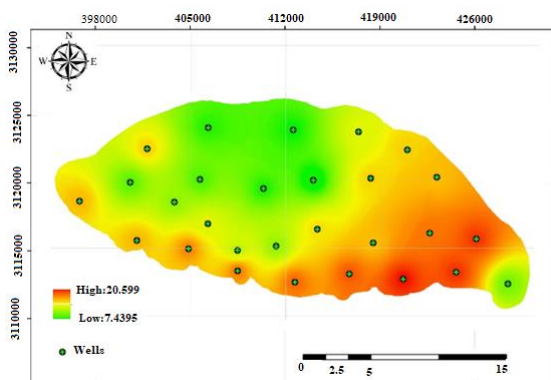
همچنین، بیشترین اندازه شیب تغییرات کاهش در مناطق جنوبی و بخش‌هایی از شرق، مرکز و شمال غرب آبخیز بود. بیشترین تراکم چاه‌های بهره‌برداری در مناطق جنوبی و جنوب‌غربی، منطبق بر مساحت مناطق کشاورزی و روستایی، مشاهده شد (شکل ۴ث). توزیع رودها و شاخه‌های آنها در سرتاسر آبخوان مطالعه شده تقریباً یکنواخت بود (شکل ۴ج). نقشه سطح آب زیرزمینی بیانگر کاهش تدریجی سطح آب زیرزمینی به سمت شمال‌غرب بود (شکل ۴چ). در پایان، نتایج به دست آمده مؤید این نکته بودند که مناطق جنوبی منطقه مطالعه شده به دلیل عامل‌هایی چون تراکم زیاد چاه‌ها (شکل ۴ح)، گسترش کاربری‌های کشاورزی و وجود گسل‌ها، با بیشترین کاهش سطح آب زیرزمینی مواجه هستند.

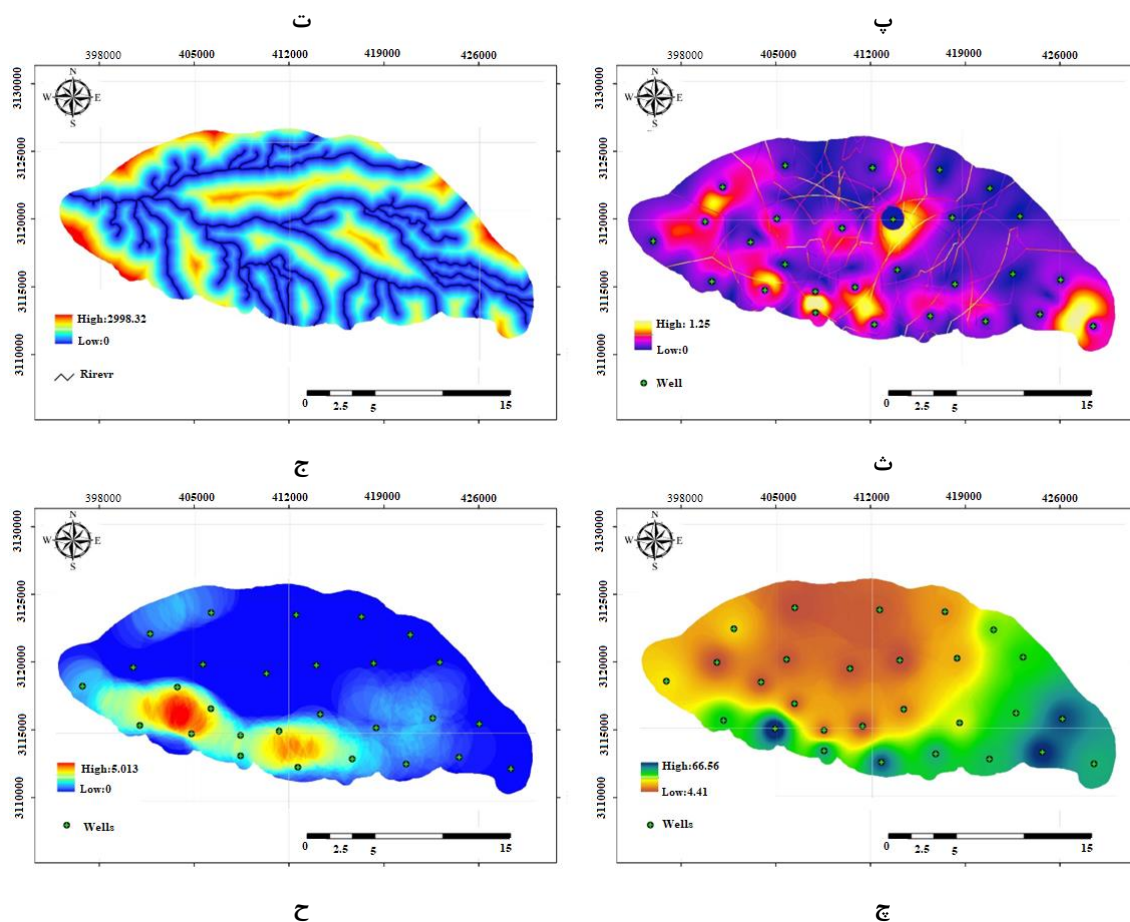


ب



الف





شکل ۴- نقشه‌های سنجه‌های مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان: الف) فاصله از گسل، ب) کاربری زمین، پ) زمین‌شناسی، ت) میانگین کاهش، ث) شیب تغییرات کاهش سفره، ج) فاصله از رود، چ) میانگین سطح آب زیرزمینی، ح) تراکم چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان.

Figure 4- Maps of effective parameters in aquifer vulnerability assessment: a) Distance from fault, b) Land use, c) Lithology, d) Average drop, e) Slope of table drop changes, f) Distance from river g) Average groundwater level, h) Density of production wells in the aquifer.

اصلاح‌شده در دو مرحله و پرسش‌نامه‌های مقایسه‌های زوجی استفاده شد. سپس، روایی پرسش‌نامه‌ها با استفاده از روایی محتوایی ($0.78 < CVR$) و پایایی قضاوت‌ها با استفاده از نرخ ناسازگاری ($0.1 > CR$) و ضریب کندال ($W = 0.82$) تأیید شد که نشان‌دهنده سازگاری درونی قضاوت‌ها و توافق زیاد خبرگان بود. نتایج نشان داد که با اهمیت‌ترین معیار در انتخاب مکان بهینه چاه‌های جدید، معیار تراکم چاه‌های بهره‌برداری با وزن 0.327 ، بود. دیگر معیارها به ترتیب اهمیت عبارت بودند از: معیار کاهش سطح آب زیرزمینی (0.245)، کاربری زمین (0.15)، شیب کاهش سطح آب زیرزمینی (0.104)، سطح آب

نتایج ارزیابی اهمیت نسبی معیارها و نرخ ناسازگاری نتایج ارزیابی اهمیت نسبی معیارهای مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در شکل ۵ نشان‌داده شده است. بر پایه شکل ۵، معیارهای مکان‌یابی چاه‌های جدید با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice و بر اساس مقایسه‌های زوجی ارزیابی شدند.

به‌منظور تعیین اهمیت نسبی معیارهای مکان‌یابی چاه‌های جدید، از دیدگاه‌های ۱۵ نفر از خبرگان آب‌زمین‌شناسی، منابع آب و مدیریت آب زیرزمینی (شامل اساتید دانشگاه، کارشناسان آب منطقه‌ای و متخصصان وزارت نیرو) با استفاده از روش دلفی

ترکیب شد و نقشه پایانی اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای حفر چاه مشاهده‌ای تهیه شد. در این نقشه مناطق از دیدگاه مناسب بودن برای حفر چاه‌های مشاهده‌ای در پنج طبقه از بسیار مناسب تا نامناسب طبقه‌بندی شدند.

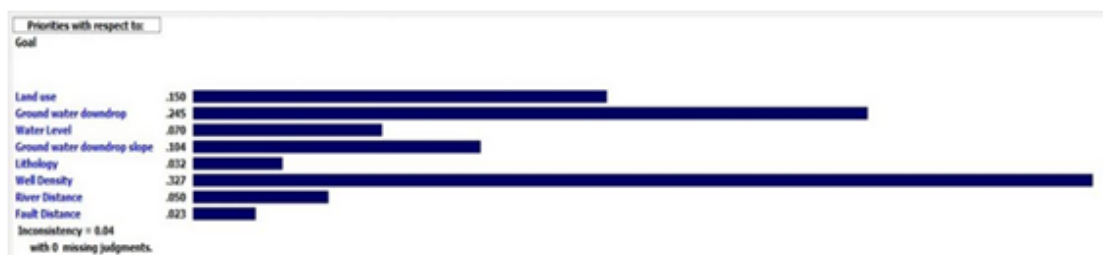
نتایج نشان داد بیشترین اولویت برای استقرار چاه مشاهده‌ای مربوط به مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی و کمترین اولویت مربوط به مناطق شمالی منطقه مطالعه‌شده، بود. این الگوی مکانی عمدتاً به دلیل تمرکز فعالیت‌های کشاورزی، تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری، کاهش شدید سطح آب زیرزمینی و نرخ زیاد کاهش آب در مناطق جنوبی بود.

زیرزمینی (۰/۰۷)، فاصله از رود (۰/۰۵)، سنگ‌شناسی (۰/۰۳۲) و فاصله از گسل (۰/۰۲۳).

نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ به دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری مطلوب قضاوت‌های خبرگان و دقت مناسب در مقایسه‌های زوجی بود.

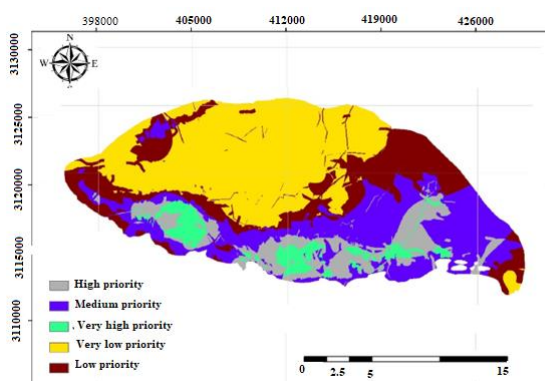
نتایج اولویت‌بندی مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای با روش AHP

نقشه پایانی اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای حفر چاه مشاهده‌ای که با استفاده از مدل AHP تهیه شد، در شکل ۶ نشان داده شده است. بر پایه شکل ۶، پس از محاسبه وزن معیارها و تهیه نقشه‌های رستری، ماتریس تصمیم‌گیری برای اجرای مدل AHP تشکیل شد. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، وزن‌های معیارها



شکل ۵- وزن معیارهای انتخاب‌شده برای مکان‌یابی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی.

Figure 5- The weight of the selected criteria for locating using the hierarchical analysis method.



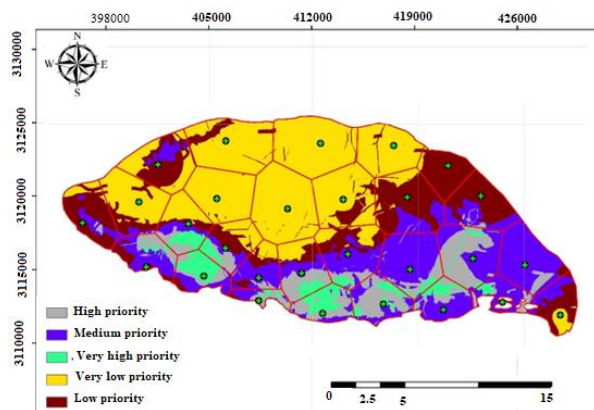
شکل ۶- اولویت‌بندی مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای با روش AHP در آبخوان شمیل-آشکارا.

Figure 6- Prioritizing the location of observation wells by AHP method in the Shamil-Ashkara Aquifer.

نتایج گام دوم: مقایسه شبکه پایش کنونی با نتایج مکان‌یابی (شبکه بهینه)

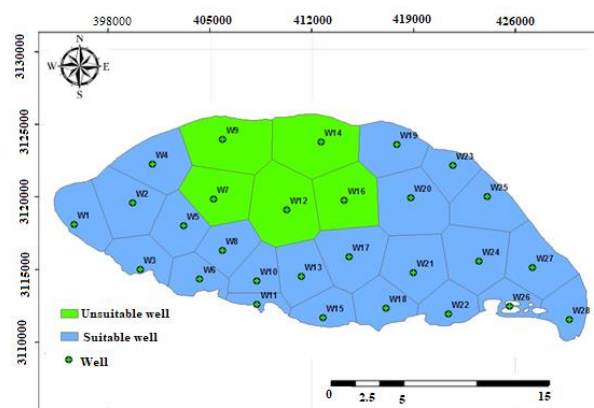
شبکه‌های تیسن برای ارزیابی شبکه پایش کنونی آبخوان شمیل-آشکارا در شکل ۷ نشان داده شده است. سپس، میانگین امتیاز مکان‌یابی برای هر چندضلعی تیسن محاسبه شد (جدول ۲). بر اساس نتایج جدول ۲ کمترین امتیاز مربوط به چاه‌های W12، W9، W7، W16 و W14 بود و از دیدگاه موقعیت مکانی مناسب ارزیابی نشدند. این چاه‌ها به دلیل فاصله زیاد از مناطق با تغییرات شدید سطح آب، پوشش ناکافی منطقه، یا دسترسی محدود به اطلاعات، نمایانگر مناسبی از

وضعیت آبخوان نیستند. نقشه شبکه‌های تیسن و چاه‌های نامناسب از دیدگاه مکان‌یابی در شکل ۸ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، چاه‌های نامناسب باید حذف شوند و در مکان‌های با امتیاز بیشتر، چاه‌های جدید حفر شود. این کار سبب بهبود پوشش شبکه پایش و افزایش دقت اطلاعات جمع‌آوری شده خواهد شد. همچنین، با توجه به اهمیت اقتصادی و عملیاتی، هزینه‌های حفر و نگهداری چاه‌ها نیز باید در تصمیم‌گیری پایانی در نظر گرفته شوند.



شکل ۷- شبکه‌بندی تیسن در آبخوان شمیل-آشکارا.

Figure 7- Thiessen network in Shamil-Ashkara Aquifer.



شکل ۸- چاه‌های مناسب و نامناسب از دیدگاه مکان‌یابی در آبخوان شمیل-آشکارا.

Figure 8-Suitable and unsuitable wells in terms of location in the Shamil-Ashkara Aquifer.

جدول ۲- میانگین امتیازات مکان‌یابی در شبکه‌های تیسن در آبخوان شمیل-آشکارا.

Table 2- Average location scores in Thyssen networks in Shamil-Ashkara Aquifer.

Observation well number	Average location score
W14	0.0972
W12	0.0996
W7	0.1001
W9	0.1075
W16	0.1126
W19	0.1159
W2	0.1240
W4	0.1425
W23	0.1478
W1	0.1591
W20	0.1600
W28	0.1600
W8	0.1744
W25	0.1754
W10	0.1806
W5	0.1814
W17	0.1817
W13	0.2037
W27	0.2100
W3	0.2161
W21	0.2178
W26	0.2244
W11	0.2309
W22	0.2316
W24	0.2359
W18	0.2397
W6	0.2501
W15	0.2593

نتایج آزمون‌های همگنی روی چاه‌های نامناسب

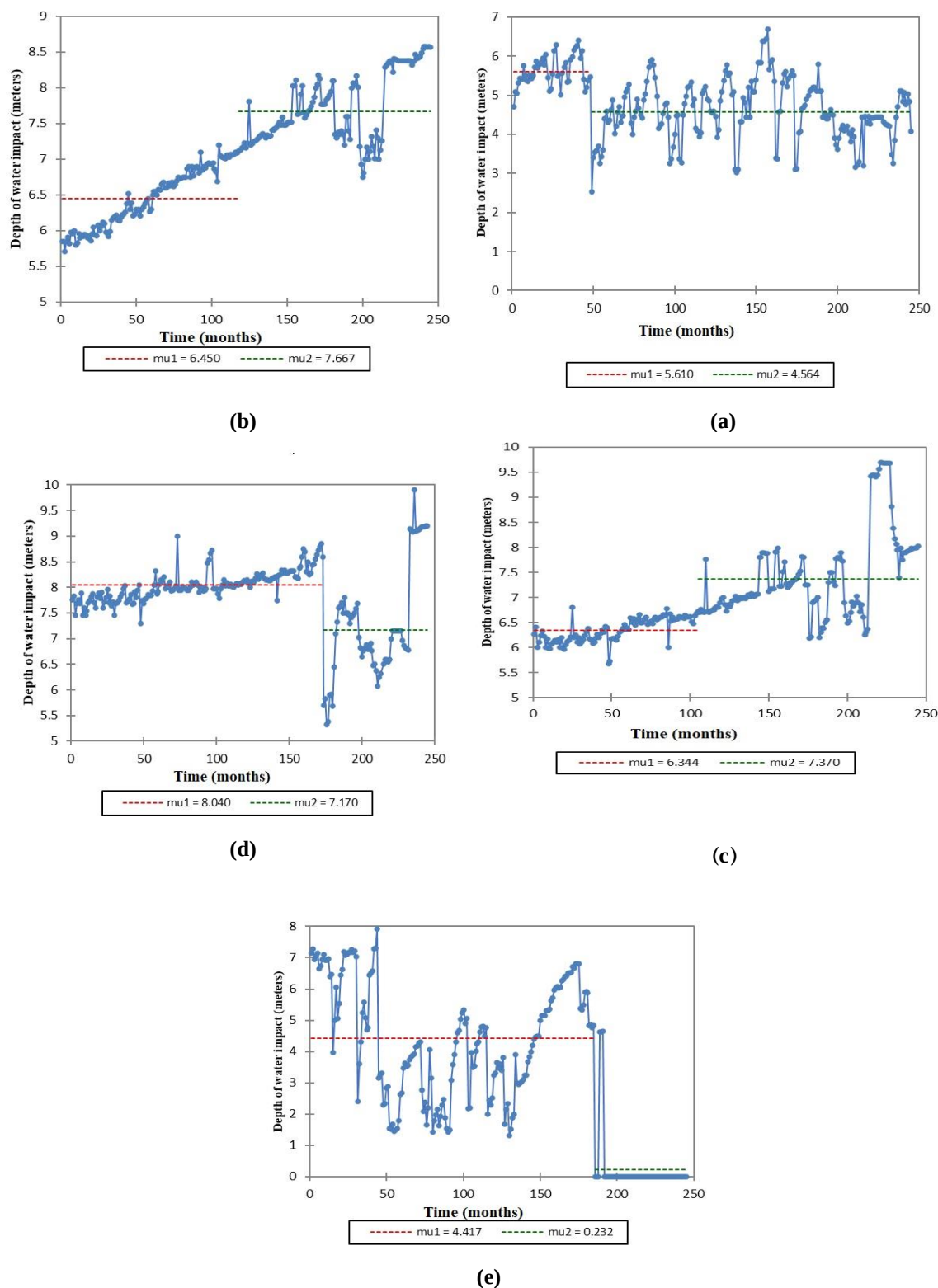
عامل‌های مختلفی از جمله برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، ناهمگنی سازندهای آبخوان و تغییرات اقلیمی بود. با توجه به شرایط آب‌زمین‌شناختی منطقه مطالعه‌شده، به نظر می‌رسد برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی عامل اصلی همگن نبودن داده‌ها در چاه‌های نامبرده است.

نتایج آزمون همگنی، شامل اندازه‌های p-value کمتر از سطح اطمینان ۰/۰۵ در جدول ۳ و شکل ۹ ارائه شده است. بر این اساس چاه‌های W9، W7، W12، W14 و W16 به دلیل همگن نبودن داده‌های گروه زمانی سطح آب زیرزمینی (آب‌نگار) از تحلیل پایانی حذف شدند. همگن نبودن این چاه‌ها ناشی از

جدول ۳- نتایج آزمون همگنی با استفاده از روش Pettitt در چاه‌های کم اهمیت.

Table 3- Homogeneity test results using Pettitt method in minor wells

Well	K	T	t	p-value (Two-tailed)	Alpha
W7	117	734.00	48	< 0.0001	0.05
W12	104	7716.00	128	< 0.0001	0.05
W16	185	-	-	< 0.0001	0.05



شکل ۹- وضعیت همگنی داده‌ها در چاه‌های پژوهشی (a): چاه شماره W9، (b) چاه شماره W7، (c) چاه شماره W12، (d) چاه شماره W14، (e) چاه شماره W16.

Figure 9- Data homogeneity status in study wells: (a) Well No. W9, (b) Well No. W7, (c) Well No. W12, (d) Well No. W14, (e) Well No. W16.

قطعیت ناشی از حذف چاه های کم اهمیت با استفاده از میانگین ضریب تغییرات سطح آب زیرزمینی ارزیابی شد. نتایج ضریب های همبستگی و رتبه بندی چاه ها بر اساس اهمیت نسبی آنها در آبخوان شمیل-آشکارا به ترتیب در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده است. اهمیت نسبی چاه ها و چندضلعی های تیسن مربوطه در شکل ۲۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد کمترین اهمیت نسبی چاه ها در آبخوان فتوئیه-تدروئیه مربوط به چاه شماره ۸، ۱۰، ۱۸، ۲۱ و ۲۸ بود و می توان آنها را به منظور صرفه جویی در منابع از شبکه پایش حذف کرد.

نتایج گام سوم: تعیین اهمیت چاه ها با تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی در این پژوهش، داده های سطح آب ۲۸ چاه در ۲۸ دوره زمانی استفاده شد. برای تعیین اهمیت نسبی هر چاه، یک رویکرد حذف متوالی اجرا شد. در هر مرحله، یک چاه از مجموعه داده ها حذف و ضریب همبستگی میان چاه های باقی مانده و PC1 محاسبه شد. این فرآیند برای تمام ۲۸ چاه تکرار شد و در نتیجه، برای هر چاه، ۲۷ ضریب همبستگی به دست آمد. با استفاده از میانگین این ضریب ها، اهمیت نسبی هر چاه تعیین شد. این روش برای سه آبخوان جغین-توکهور، گهکم-سعادت آباد و فتوئیه، با تعداد چاه های متفاوت (به ترتیب ۳۱، ۳۰ و ۴۰) تکرار شد. همچنین، نبودن

جدول ۴ (بخش اول) - ضریب های همبستگی چاه ها در آبخوان شمیل-آشکارا.

Table 4 (Part 1) - Correlation Coefficients of Wells in the Shamil-Ashkara Aquif.

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11
W1		0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.91***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***
W2	0.82***		0.80***	0.82***	0.81***	0.81***	0.83***	0.82***	0.82***	0.81***	0.80***
W3	0.90***	0.88***		0.90***	0.89***	0.90***	0.91***	0.90***	0.90***	0.90***	0.89***
W4	-	-0.97***	-		-	-	-	-	-	-	-
W5	0.97***	-0.44**	0.96***	-0.43**		0.96***	0.97***	0.96***	0.97***	0.96***	0.97***
W6	-0.44**	-0.41**	-0.41**	-0.43**	0.91***	-0.42**	-0.46**	-0.44**	-0.44**	-0.43**	-0.42**
W7	0.91***	0.91***	0.91***	0.92***	0.31*	0.92***	0.92***	0.92***	0.91***	0.92***	0.91***
W8	0.28*	0.32*	0.31*	0.28*	0.29*	0.28*		0.28*	0.28*	0.29*	0.30*
W9	0.17ns	0.18ns	0.17ns	0.18ns	0.19ns	0.19ns	0.17ns		0.18ns	0.18ns	0.17ns
W10	0.19ns	0.19ns	0.20ns	0.21ns	0.20ns	0.18ns	0.20ns	0.20ns		0.20ns	0.18ns
W11	-0.16ns	-0.12ns	-0.12ns	-0.15ns	-0.12ns	-0.14ns	-0.17ns	-0.16ns	-0.15ns		-0.13ns
W12	0.80***	0.79***	0.79***	0.81***	0.80***	0.79***	0.81***	0.80***	0.80***	0.80***	0.80***
W13	0.89***	0.90***	0.90***	0.90***	0.91***	0.90***	0.88***	0.89***	0.89***	0.90***	0.90***
W14	0.46**	0.47**	0.47**	0.47**	0.47**	0.47**	0.46**	0.46**	0.46**	0.47**	0.47**
W15	0.76***	0.75***	0.75***	0.77***	0.75***	0.75***	0.77***	0.77***	0.76***	0.76***	0.75***
W16	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.93***
W17	0.80***	0.82***	0.82***	0.80***	0.82***	0.82***	0.79***	0.80***	0.81***	0.81***	0.81***
W18	-0.32*	-0.29*	-0.30*	-0.31*	-0.29*	-0.31*	-0.33*	-0.32*	-0.31*	-0.31*	-0.32*
W19	-0.08ns	-0.08ns	-0.08ns	-0.06ns	-0.06ns	-0.08ns	-0.08ns	-0.08ns	-0.08ns	-0.07ns	-0.10ns
W20	0.93***	0.94***	0.94***	0.93***	0.94***	0.94***	0.93***	0.93***	0.93***	0.94***	0.94***
W21	0.93***	0.94***	0.93***	0.93***	0.94***	0.94***	0.92***	0.92***	0.93***	0.93***	0.93***
W22	0.15ns	0.18ns	0.18ns	0.15ns	0.18ns	0.17ns	0.13ns	0.14ns	0.15ns	0.16ns	0.17ns
	-	-0.96***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.96***		0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***

جدول ۴ (بخش دوم) - ضریب‌های همبستگی چاه‌ها در آبخوان شمیل-آشکارا.

Table 4 (Part 2)- Correlation Coefficients of Wells in the Shamil-Ashkara Aquifer.

	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22
W1	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***	0.92***
W2	0.83***	0.82***	0.80***	0.81***	0.84***	0.81***	0.82***	0.83***	0.83***	0.82***	0.82***
W3	0.91***	0.90***	0.89***	0.90***	0.91***	0.90***	0.90***	0.91***	0.91***	0.91***	0.90***
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W5	0.97***	0.97***	0.97***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***
W6	-0.47**	-0.44**	-0.41**	-0.43**	-0.47**	-0.42**	-0.43**	-0.46**	-0.46**	-0.45**	-0.43**
W7	0.92***	0.92***	0.90***	0.92***	0.93***	0.92***	0.92***	0.93***	0.93***	0.92***	0.92***
W8	0.25*	0.28*	0.30*	0.29*	0.25*	0.30*	0.28*	0.26*	0.26*	0.27*	0.29*
W9	0.17ns	0.17ns	0.19ns	0.17ns	0.14ns	0.19ns	0.18ns	0.16ns	0.15ns	0.17ns	0.19ns
W10	0.19ns	0.19ns	0.17ns	0.20ns	0.21ns	0.20ns	0.20ns	0.21ns	0.21ns	0.20ns	0.21ns
W11	-0.18ns	-0.16ns	-0.12ns	-0.14ns	-0.19ns	-0.13ns	-0.15ns	-0.18ns	-0.18ns	-0.16ns	-0.14ns
W12	0.81***	0.81***	0.78***	0.80***	0.81***	0.80***	0.81***	0.81***	0.81***	0.81***	0.81***
W13	0.89***	0.90***	0.90***	0.90***	0.88***	0.90***	0.89***	0.88***	0.88***	0.89***	0.90***
W14	0.46**	0.47**	0.47**	0.46**	0.47**	0.47**	0.47**	0.46**	0.46**	0.46**	0.47**
W15	0.77***	0.77***	0.76***	0.79***	0.76***	0.77***	0.77***	0.79***	0.79***	0.77***	0.77***
W16	0.95***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***	0.94***
W17	0.79***	0.80***	0.82***	0.81***	0.82***	0.81***	0.78***	0.78***	0.80***	0.81***	0.81***
W18	-0.33*	-0.32*	-0.30*	-0.32*	-0.35*	-0.31*	-0.34*	-0.34*	-0.34*	-0.32*	-0.30*
W19	-0.08ns	-0.08ns	-0.08ns	-0.08ns	-0.09ns	-0.06ns	-0.08ns	-0.09ns	-0.07ns	-0.06ns	-0.06ns
W20	0.92***	0.93***	0.94***	0.93***	0.91***	0.94***	0.93***	0.92***	0.92***	0.93***	0.93***
W21	0.12ns	0.14ns	0.17ns	0.16ns	0.11ns	0.16ns	0.15ns	0.12ns	0.13ns	0.15ns	0.15ns
W22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***	0.96***

ns: Not significant

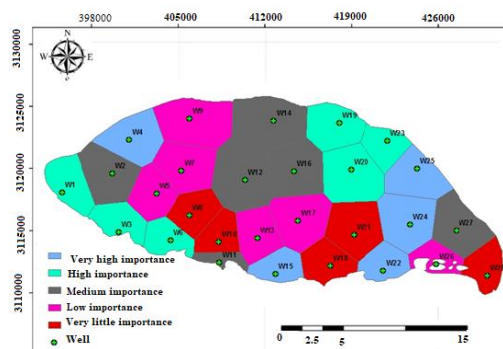
ns: معنی‌دار: غیر

: Significant at 95% confidence level ($p < 0.05$): معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ ($p < 0.05$)**: Significant at 99% confidence level ($p < 0.01$)**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹٪ ($p < 0.01$)***: Significant at 90% confidence level ($p < 0.001$)***: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۰٪ ($p < 0.001$)

جدول ۵ - اهمیت نسبی چاه‌ها در آبخوان شمیل-آشکارا.

Table 5 - Relative importance of wells in Shamil-Ashkara Aquifer.

Relative importance	Observation well number	Relative importance	Observation well number
0.77	W16	0.93	W24
0.74	W14	0.92	W4
0.64	W27	0.92	W22
0.607	W26	0.90	W25
0.44	W13	0.90	W15
0.42	W5	0.90	W23
0.30	W17	0.89	W19
0.27	W7	0.89	W20
0.19	W9	0.88	W1
0.16	W8	0.88	W6
0.16	W28	0.87	W3
0.14	W10	0.86	W12
0.14	W21	0.79	W2
0.07	W18	0.77	W11



شکل ۱۰- اهمیت نسبی چاه‌ها در آبخوان شمیل-آشکارا.

Figure 10- Relative importance of wells in Shamil-Ashkara Aquifer.

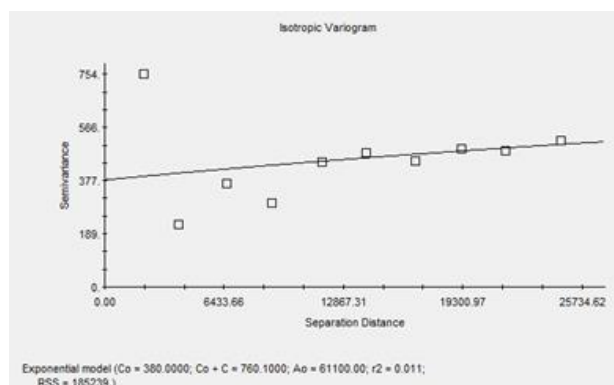
اطلاعات ارزشمندی درباره تغییرات محلی ارائه می‌دهند را نخست، وجود چاه‌های حذف شده به‌عنوان نقاط داده‌ای اضافی و دوم کاهش نبودن قطعیت و سوم بهبود دقت برآورد، دانست. همچنین، معیارهای انتخاب چاه در AHP و PCA لزوماً با معیارهای مؤثر بر دقت درون‌یابی زمین‌آماري یکسان نبودند، که ممکن است مؤید کاهش دقت درون‌یابی باشد. افزون براین، نتایج نشان داد که حذف چاه‌ها بر اساس AHP دقت را بهبود بخشید ولی بر اساس PCA خطا افزایش یافت. این موضوع به‌دلیل تفاوت ماهیت این دو روش بود. این یافته‌ها بیانگر آن بودند که در طراحی شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی، باید به تأثیر حذف چاه‌ها بر دقت درون‌یابی توجه کرد و پیشنهاد می‌شود از یک رویکرد ترکیبی استفاده شود که هم شامل معیارهای کارشناسی و هم معیارهای زمین‌آماري باشد.

نتایج گام چهارم: بررسی اثر حذف چاه‌های کم‌اهمیت بر خطای درون‌یابی
نتایج برازش مدل واریوگرام برای درون‌یابی سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش کریجینگ در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که حذف چاه‌های کم‌اهمیت بر اساس AHP منجر به کاهش خطای استاندارد درون‌یابی شد. همچنین، حذف چاه‌ها بر اساس PCA باعث افزایش این خطا شد. بیشترین خطاهای استاندارد در منطقه شرقی و کمترین آنها در مناطق شمالی و مرکزی، منطبق با مناطقی با کمترین تراکم چاه، مشاهده شد (شکل ۱۳). در هر دو روش AHP و PCA، حذف چاه‌های کم‌اهمیت منجر به افزایش ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) شد (جدول ۶). این نکته بیانگر آن بود که حذف چاه‌های نامبرده سبب بهبود دقت درون‌یابی نشد. می‌توان دلایل مهم افزایش RMSE به‌ویژه در آبخوان‌های ناهمگن که حتی چاه‌های کم‌اهمیت

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
☐ Spherical	344.00000	688.10000	61100.0000	61100.0000	0.500	0.015	196923.
☐ Exponential	380.00000	760.10000	61100.0000	83300.0000	0.500	0.011	185239.
☐ Linear	418.90409	478.07226	24567.4285	24567.4285	0.124	0.017	190739.
☐ Linear to sill	371.00000	742.10000	61100.0000	61100.0000	0.500	0.017	186509.
☒ Gaussian	416.00000	867.10000	52440.0000	90828.7443	0.520	0.046	174161.

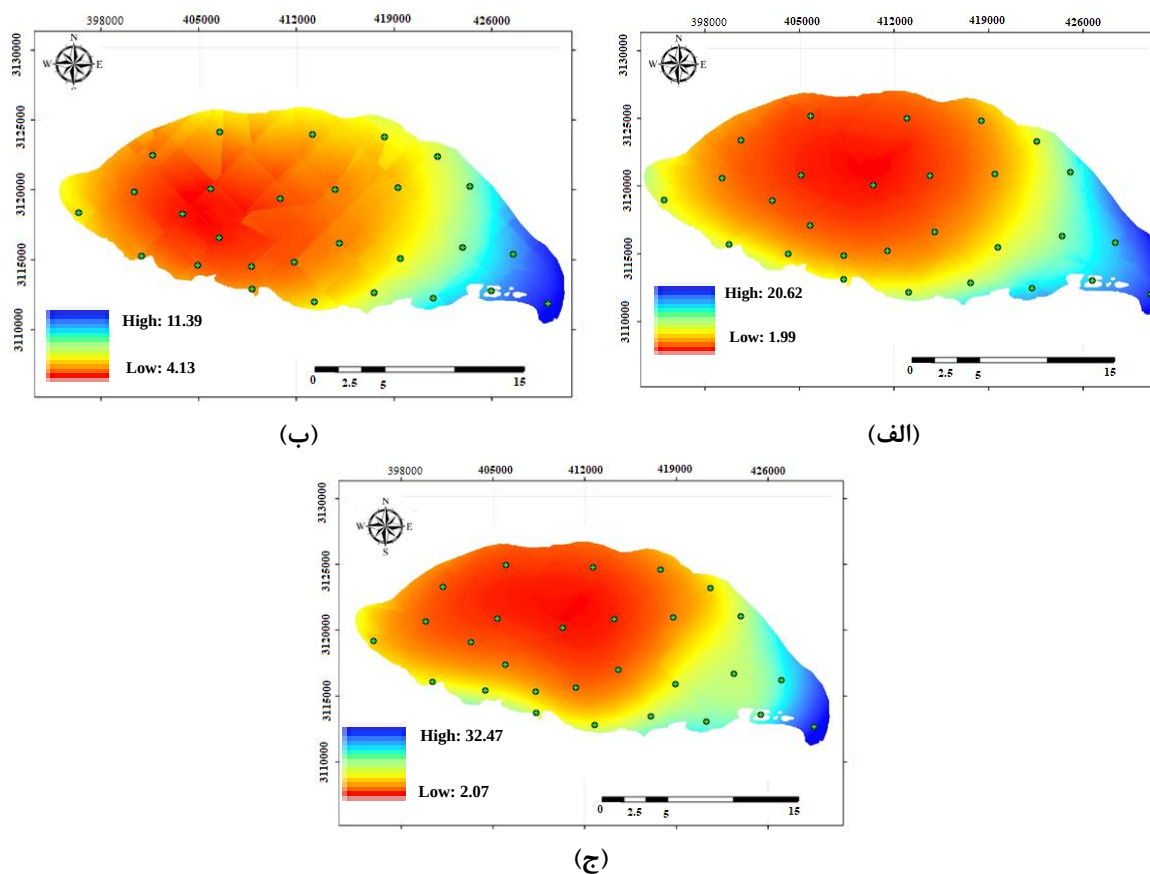
شکل ۱۱- واریوگرام‌های برازش داده شده در آبخوان شمیل-آشکارا.

Figure 11- Fitted variograms in Shamil-Ashkara Aquifer.



شکل ۱۲- بهترین واریوگرام (مدل گوسین) در آبخوان شمیل-آشکارا

Figure 12- The best variogram (Gaussian model) in Shamil-Ashkara Aquifer.



شکل ۱۳- خطای استاندارد در آبخوان شمیل-آشکارا: (الف) قبل از حذف چاه‌های کم‌اهمیت، (ب) پس از حذف چاه‌های کم‌اهمیت، (ج) پس از حذف چاه‌های کم‌اهمیت تعیین‌شده با روش AHP، و (د) پس از حذف چاه‌های کم‌اهمیت تعیین‌شده با روش PCA.

Figure 13-Standard error in the Shamil-Ashkara Aquifer: (a) before removing less important wells, (b) after removing less important wells determined by AHP method, and (c) after removing less important wells determined by PCA method.

جدول ۶- اندازه تغییر RMSE با حذف چاه‌های کم‌اهمیت در آبخوان شمیل آشکارا.

Table 6. RMSE Variation with the Exclusion of Low-Importance Wells in the Shamil-Ashkara Aquifer

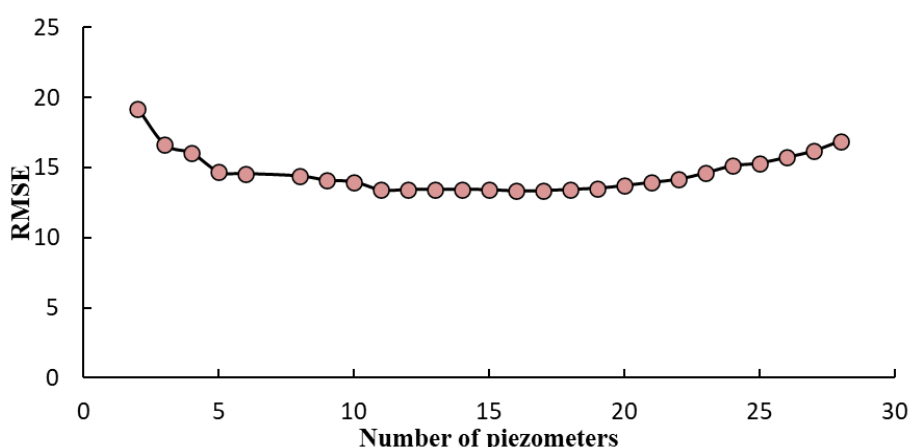
RMSE	
14.22	Before removing minor wells
14.41	After removing the less important wells by PCA method
17.08	After removing the less important wells with AHP method

نتایج گام پنجم: تعیین چاه‌های مهم و انتخاب آنها با

استفاده از روش فراکاوشی NSGAII

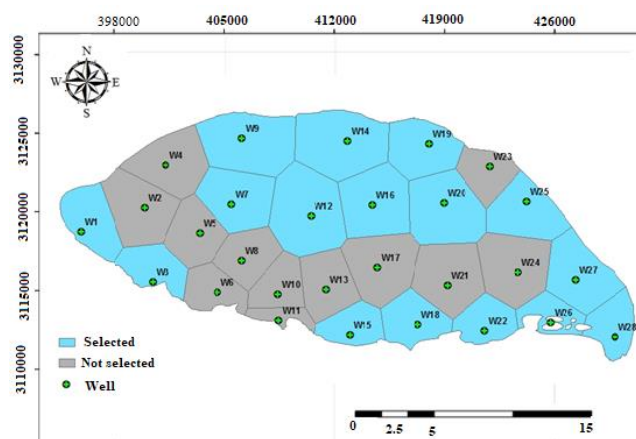
II یک جبهه‌ی پارتو ایجاد کرد که نشان‌دهنده‌ی بده‌بستان میان دو تابع هدف بود (شکل ۱۴). بخش ابتدایی جبهه‌ی پارتو که متناظر با تعداد کمتر چاه مشاهده‌ای بود، به‌وسیله‌ی NSGA-II تولید شد. بخش باقیمانده‌ی جبهه که تعداد بیشتری چاه مشاهده‌ای را در بر می‌گرفت، با محاسبه‌ی جداگانه‌ی RMSE برای تعداد مشخصی از چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌دست آمد. جبهه‌ی پارتو نشان داد که با افزایش تعداد چاه‌های مشاهده‌ای تا ۱۶ عدد، RMSE کاهش یافت و پس از آن به‌تدریج افزایش یافت. از این‌رو، پیکربندی بهینه شبکه با ۱۶ چاه مشاهده‌ای انتخاب شد (جدول ۶ و شکل ۱۵).

به‌منظور بهینه‌سازی شبکه‌ی چاه‌های مشاهده‌ای، از الگوریتم فراکاوشی NSGA-II (الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع دوم) استفاده شد. مشابه پژوهش پیشین در زمینه‌ی پایش کیفیت و سطح آب زیرزمینی، این الگوریتم با نمایش کروموزومی دودویی پیاده‌سازی شد. در این نمایش، هر ژن متناظر با یک مکان بالقوه برای نصب چاه مشاهده‌ای است (۱): وجود چاه مشاهده‌ای، ۰: نبودن چاه مشاهده‌ای). دو تابع هدف، شامل تعداد چاه‌های مشاهده‌ای (به‌دلیل هزینه‌های نصب و نگهداری) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) میان سطح آب زیرزمینی مشاهده‌شده و برآوردشده، به‌طور هم‌زمان کمینه شدند. برای برآورد سطح آب زیرزمینی برای هر کروموزوم، از روش عکس فاصله (IDW) استفاده شد. الگوریتم NSGA-



شکل ۱۴- جبهه پارتو خروجی الگوریتم NSGAII برای تعداد چاه‌های مشاهده‌ای گوناگون.

Figure 14- Output Pareto front of NSGAII algorithm for different number of piezometers.



شکل ۱۵- چاه های مشاهده ای انتخاب شده با استفاده از روش NSGAII
Figure 15- Selected observation wells using the NSGAII method.

نتیجه گیری و پیشنهادها

از AHP در شناسایی چاه های کم اهمیت نشان داد. این اختلاف ناشی از تفاوت های ذاتی در روش ها و داده های ورودی استفاده شده در هر روش بود. PCA صرفاً بر داده های سطح آب زیرزمینی تمرکز می کند، اما، AHP معیارهای پرشماری را ادغام می کند و ارزیابی جامع تری ارائه می دهد. در نتیجه، نتایج دقیق تری، به ویژه در مناطقی با داده های کم، ارائه می دهد که با یافته های آزادی و همکاران (۲۰۲۰) و ران و همکاران (۲۰۱۵) هم راستا است. نتایج این پژوهش نشان داد که روش های مختلف بهینه سازی، به دلیل تفاوت در الگوریتم ها و سنجه های ورودی، می توانند به نتایج متفاوتی منجر شوند. توانایی AHP در ترکیب دامنه گسترده تری از عامل های مرتبط، رویکرد مناسب تری برای بهینه سازی شبکه های پایش در شرایط پیچیده آب زمین شناختی است.

نتایج تحلیل کریجینگ بیانگر رابطه پیچیده ای میان تعداد چاه های پایش و دقت درون یابی بود. حذف چاه های کم اهمیت بر اساس AHP منجر به کاهش خطای استاندارد درون یابی شد که نشان دهنده کاهش نبودن قطعیت محلی است. از سوی دیگر، این کاهش با افزایش جزئی در ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) همراه بود. این موضوع بیانگر از دست رفتن احتمالی دقت کلی در ثبت تغییرات مکانی سطح آب

این پژوهش با هدف بهینه سازی شبکه پایش آب های زیرزمینی در دشت شمیل - آشکارا، استان هرمزگان، ایران با استفاده از رویکرد ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)، کریجینگ و الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب نوع دوم (NSGA-II) انجام شد. نتایج تحلیل AHP نشان داد که بیشترین اولویت برای پایش، مناطق جنوبی و جنوب شرقی دشت است. زیرا، در این مناطق فعالیت های کشاورزی فشرده، چاه های استخراج تراکم زیاد و سطح آب زیرزمینی کاهش قابل توجه داشته است. این یافته با نتایج پژوهش های مشابه جنت رستمی و صلاحی (۲۰۲۰)؛ کماسی و گودرزی (۲۰۲۱) در دشت های مختلف ایران هم راستا است. یک اصل کلی در این پژوهش ها تأکید شده است و آن پایش متمرکز مناطقی که تنش بیشتری بر منابع آب زیرزمینی دارند، است. اما، میرزائی ندوشن و همکاران (۲۰۱۹) در دشت اشتهارد، عمدتاً بر کاهش سطح آب زیرزمینی به عنوان معیار اصلی برای طراحی شبکه تأکید دارند. این پژوهش عامل های مؤثر دیگری، از جمله کاربری زمین و تراکم چاه ها را نیز در نظر گرفته و رویکرد جامع تری برای شناسایی مکان های بهینه پایش ارائه داده است. استفاده از PCA اختلافاتی را میان نتایج آن و نتایج به دست آمده

آبخوان؛ پنجم، خطاهای سنج‌های به دلیل نبودن قطعیت در سنج‌های ورودی مدل‌ها؛ و خطاهای محاسباتی ناشی از تقریب‌های عددی در الگوریتم‌ها. برای بهبود پژوهش‌های آینده، پیشنهاد می‌شود تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد بلندمدت شبکه پایش بهینه‌سازی‌شده، بررسی شود. از سوی دیگر، پیشنهاد می‌شود با توسعه یک رویکرد بهینه‌سازی دوبعدی هم جنبه مکانی و هم جنبه زمانی (فرکانس نمونه‌برداری) در نظر گرفته شود، تا سبب طراحی شبکه‌های پایش کارآمدتر شود. همچنین توصیه می‌شود که در پژوهش‌های آینده، به ادغام پایش کمی و کیفی آب زیرزمینی در یک چارچوب یکپارچه بهینه‌سازی، بررسی تأثیر فناوری‌های نوین (مانند حسگرهای از راه دور و سامانه‌های حسگر هوشمند)، و توسعه ساختار پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیریت انطباقی شبکه پایش، توجه بیشتری شود.

سیاس‌گذاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی شبکه پایش آب زیرزمینی بر اساس هوش مصنوعی (دشت شمیل و آشکارا) بود که شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان کارفرمای اجرای آن بود. از این رو، نویسندگان این مقاله از شرکت نامبرده به‌خاطر حمایت‌های مادی در اجرای این طرح، قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده‌شده در این پژوهش، با مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار مخاطب قرار خواهد گرفت.

زیرزمینی است. به‌طور مشابه، حذف چاه‌ها بر اساس PCA هم خطای استاندارد و هم RMSE را افزایش داد. این یافته بر اهمیت ارزیابی دقیق بده‌بستان میان کاهش هزینه و دقت داده‌ها هنگام بهینه‌سازی شبکه‌های پایش، به‌ویژه در شرایطی که حفظ نمایش الگوهای مکانی بسیار مهم است، تأکید دارد. این نتایج با یافته‌های اسکونیول و همکاران (۲۰۱۵) و مک‌کینی و لوکس (۱۹۹۲) مبنی بر اثرات متفاوت حذف چاه بر دقت مدل، هم‌راستا است. با بهره‌گیری از الگوریتم NSGA-II و با در نظر گرفتن تعداد چاه‌های مشاهده‌ای و RMSE به‌عنوان توابع هدف، پیکربندی شبکه‌ای متشکل از ۱۶ چاه را به‌عنوان راه‌حل بهینه شناسایی شد. این شبکه کاهش‌یافته به‌گونه‌ای طراحی شد که با کاهش هزینه‌های پایش، همچنان در نمایش نوسانات سطح آب زیرزمینی دقت آن قابل قبول بود. نتایج این پژوهش مبنی بر اثربخشی الگوریتم NSGA-II در حل مسائل مربوط به بهینه‌سازی چندهدفه در مدیریت آب‌های زیرزمینی با نتایج پژوهش‌های جنت‌رستمی و صلاحی (۲۰۲۰)؛ کماسی و گودرزی (۱۴۰۰) هماهنگی دارد. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت رویکرد ترکیبی استفاده از AHP برای اولویت‌بندی اولیه چاه‌ها و سپس بهینه‌سازی پایانی با NSGA-II، روش کارآمدی برای طراحی شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی است. این رویکرد ترکیبی هم از قضاوت کارشناسی در قالب AHP بهره می‌برد و هم از قدرت بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II استفاده می‌کند که نتیجه آن ارائه شبکه‌ای با کمترین تعداد چاه و بیشترین دقت ممکن است.

منابع خطای پرشماری در این پژوهش شناسایی شدند که بر دقت و قابلیت اطمینان نتایج تأثیرگذار بودند. این خطاها را می‌توان به پنج دسته کلی تقسیم کرد. نخست خطاهای اندازه‌گیری ناشی از مشکلات واسنجی؛ دوم، خطای انسانی و تغییر روش‌ها؛ سوم، خطاهای درونی ناشی به دلیل محدودیت‌های روش کریجینگ و انتخاب مدل واریوگرام؛ چهارم، خطاهای مفهومی ناشی از ساده‌سازی‌های مدل‌سازی ساختار

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تحلیل داده‌ها، نگارش، نظارت، نرم‌افزار، پژوهش

نویسنده دوم: نرم‌افزار، پژوهش، تحلیل داده‌ها، نگارش

نویسنده سوم: انجام پژوهش نظارت

نویسنده چهارم: انجام پژوهش

نویسنده پنجم: انجام پژوهش

فهرست منابع

- Al Saati MN. 1980. Contribution to the study of the transitional current for short times (Doctoral dissertation, Toulouse), France.
- Albert T, Foster S, Kemper K, Garduno H, Nanni M. 2004. Groundwater monitoring requirements for managing aquifer response and quality threats. In W.W.W-G. Yeh, N.E. Kaden, & A.I. El-Fadel (Eds.), Bringing Groundwater Quality Research to the Watershed Scale. IAHS Press. pp. 3-10.
- Alfonso L, Lobbrecht A, Price R. 2010. Information theory-based approach for location of monitoring water level gauges in polders. Water Resources Research. 46(3): W03528. <https://doi.org/10.1029/2009WR008251>.
- Amiri V. 2021. Optimization of groundwater quality monitoring network using geostatistical method. Journal of Arid Biome: 10(2): 37-52.
- Banadkook FB, Ehteram M, Ahmed AN, Teo F Y, Fai CM, Afan HA, Sapitang M, El-Shafie A. 2020. Enhancement of groundwater-level prediction using an integrated machine learning model optimized by whale algorithm. Natural Resources Research. 29: 3233-3252.
- Bilal M, Oyedele LO, Akinade OO, Ajayi SO, Alaka HA, Owolabi HA. 2018. Artificial neural network approach for predicting water quality index: a case study in Malaysia. Journal of Cleaner Production. 189: 376-386.
- Canton H. 2021. Food and agriculture organization of the United Nations—FAO. In The Europa directory of international organizations 2021. Routledge. pp. 297-305.
- Castro LM, Gironás J, Fernández B. 2019. Spatial estimation of daily precipitation in regions with complex relief and scarce data using terrain orientation. Journal of Hydrology. 576: 788-806.
- Chen, YC, Wei C, Yeh HC. 2017. Rainfall network design using entropy and kriging approach. Journal of Hydrology. 549: 350-364.
- Chen Z, Liu Z, Yin L, Zheng W. 2022. Statistical analysis of regional air temperature characteristics before and after dam construction. Urban Climate. 41: 101085. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101085>
- Chowdhury A, Jha MK, Chowdary VM. 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. Environmental Earth Sciences. 59(6): 1209-1222.
- Cressie NAC. 1993. Statistics for Spatial Data. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Dokou Z, Pinder GF. 2009. Optimal search strategy for the definition of a DNAPL source. Journal of Hydrology. 376(3-4): 542-556.
- Ebrahimi, H, Rajaei T. 2017. Simulation of groundwater level variations using wavelet combined with neural network, linear regression and support vector machine. Global and Planetary Change. 148: 181-191.
- El Bilali A, Taleb A, Brouziyne Y. 2021. Groundwater quality forecasting using machine learning algorithms for irrigation purposes. Agricultural Water Management. 245: 106625.
- Esquivel JM, Morales GP, Esteller MV. 2015. Groundwater monitoring network design using GIS and multicriteria analysis. Water Resources Management. 29: 3175-3194.
- FAO. 2021. Aquastat database. Aquastat. website. <https://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html>. Accessed February 2021
- Farzin S, Ifaei P, Farzin N, Hassanzadeh Y, Aalami MT. 2018. An investigation on changes and prediction of Urmia Lake water surface evaporation by chaos theory. International Journal of Environmental Science and Technology. 15(6): 1169-1184.
- Forman EH, Gass SI. 2001. The analytic hierarchy process—an exposition. Operations Research. 49(4): 469-486.
- Gautam K, Sharma P, Dwivedi S, Singh A, Gaur VK, Varjani S, Srivastava JK, Pandey A, Chang JS, Ngo HH. 2023. A review on control and abatement of soil pollution by heavy metals: Emphasis on artificial intelligence in recovery of contaminated soil. Environmental Research. 225: 115592.
- Ghahroudi Tali M, Derafshi K. 2015. The study of chaos in the flood risk pattern of Tehran. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards. 2(2): 1-16.

- Ghorbani MA, Deo RC, Karimi V, Yaseen Z. M, Terzi O. 2018. Implementation of a hybrid MLP-FFA model for water level prediction of Lake Egirdir, Turkey. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 32: 1683-1697.
- Gong W, Yang D, Gupta HV, Nearing G. 2016. Estimating information entropy for hydrological data: One-dimensional case. *Water Resources Research*. 52(7): 5418-5432.
- Heath RC. 1976. Design of Ground-Water Level Observation-Well Programs. *Ground Water*. 14: 71-77.
- Huang S, Lyu Y, Sha H, Xiu L. 2021. Seismic performance assessment of unsaturated soil slope in different groundwater levels. *Landslides*. 18(8): 2813-2833.
- Hudak PF. 2006. Heuristic for constructing minimum-well groundwater monitoring configurations at waste storage facilities. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 41(2): 185-193.
- Hussain I, Pilz J, Spoeck G. 2021. Entropy-based sampling design for spatial data. *Environmental Monitoring and Assessment*. 193(1): 1-17.
- Isaaks EH, Srivastava RM. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- Ishizaka A, Labib A. 2011. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*. 38(11): 14336-14345.
- Jee DH, Kang KJ. 2000. A method for optimal material selection aided with decision making theory. *Materials and Design*. 21(3):199-206.
- [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(99\)00066-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0261-3069(99)00066-7)
- Jha MK, Chowdhury A, Chowdary, VM, Peiffer S. 2016. Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: Prospects and constraints. *Water Resources Management*, 21(2): 427-467.
- Jolliffe IT. 2002. *Principal Component Analysis*. Springer Series in Statistics, 2nd ed. Springer, New York.
- Karakaya N, Evrendilek F, Gungor K, Onal D. 2020. Predicting water quality parameters using artificial neural networks: A case study for Egirdir Lake, Turkey. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 55(4): 374-384.
- Karmakar S, Gupta K, Gupta A. 2018. Groundwater quality monitoring network design using GIS-based multi-criteria analysis: A case study. *Environmental Earth Sciences*. 77(19): 1-18.
- Keum J, Coulibaly P. 2017. Sensitivity of entropy method to time series length in hydrometric network design. *Journal of Hydrologic Engineering*. 22(9): 04017028.
- Komasi M, Goudarzi H. 2021. Multi-objective optimization of groundwater monitoring network using a probability Pareto genetic algorithm and entropy method (Case study: Silakhor plain). *Journal of Hydroinformatics*, 23(1): 136-150.
- Kontos YN, Kassandra T, Perifanos K, Karampasis M, Katsifarakis KL, Karatzas K. 2022. Machine learning for groundwater pollution source identification and monitoring network optimization. *Neural Computing and Applications*. 34(22): 19515-19545.
- Kumar H, Syed TH, Amelung F, Agrawal R, Venkatesh A. 2022. Space-time evolution of land subsidence in the National Capital Region of India using ALOS-1 and Sentinel-1 SAR data: Evidence for groundwater overexploitation. *Journal of Hydrology*. 605: 127329.
- Kumar T, Gautam AK, Kumar T. 2020. Appraising the accuracy of GIS-based Multi-criteria decision making technique for delineation of Groundwater potential zones. *Water Resources Management*. 34(1): 169-191.
- Lee C, Paik K, Yoo DG, Kim JH. 2012. Efficient method for optimal placing of water quality monitoring stations for an ungauged basin. *Journal of Environmental Management*. 101: 42-49.
- Li J, Lu C, Hu J, Chen Y, Ma J, Chen J, Shu L. 2025. Determining the Groundwater Level in Hilly and Plain Areas From Multisource Observation Data Combined With a Machine Learning Approach. *Hydrological Processes*. 39(2): e70088.
- Liu S, Liu Y, Wang C, Dang X. 2022. The distribution characteristics and human health risks of high-fluorine groundwater in coastal plain: A case study in Southern Laizhou Bay, China. *Frontiers in Environmental Science*. 10: 901637.
- Machiwal D, Jha MK, Mal BC. 2011. Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques. *Water Resources Management*. 25(5): 1359-1386.
- Machiwal D, Rangi N, Sharma A. 2015. Integrated knowledge and data-driven approaches for groundwater potential zoning using GIS and multi-criteria decision making techniques on hard-rock terrain of Ahar catchment, Rajasthan, India. *Environmental Earth Sciences*. 73(4): 1871-1888.

- Malczewski J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*. 20(7): 703-726.
- Malik A, Kumar A, Gaffar A. 2019. Designing a network of groundwater quality monitoring stations using GIS and entropy. *Environmental Processes*. 6(1): 163-184.
- McKinney DC, Loucks DP. 1992. Network design for predicting groundwater contamination. *Water Resources Research*. 28(1): 133-147.
- Mirzaei-Nodoushan F, Bozorg Haddad O, Khayat Kholghi M. 2019. Optimization and development of groundwater-level monitoring network in Eshtehard plain. *Watershed Engineering and Management*. 11(1): 273-282.
- Mirzaie-Nodoushan F, Bozorg-Haddad O, Loáiciga HA. 2017. Optimal design of groundwater-level monitoring networks. *Journal of Hydroinformatics*. 19(6): 920-929.
- Mishra AK, Coulibaly P. 2009. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*. 47(2): RG2001.
- Mu E, Pereyra-Rojas M. 2017. Understanding the Analytic Hierarchy Process. In *Practical Decision Making: An Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Springer, Cham. pp. 13-22.
- Noorbeh P, Roozbahani A, Kardan Moghaddam H. 2020. Annual and monthly dam inflow prediction using Bayesian networks. *Water Resources Management*. 34: 2933-2951.
- Nourani V, Baghanam AH, Adamowski J, Kisi O. 2014. Applications of hybrid wavelet-artificial intelligence models in hydrology: A review. *Journal of Hydrology*. 514: 358-377.
- Ouyang Y, Nkedi-Kizza P, Wu QT, Shinde D, Huang CH. 2010. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*. 40(20): 3800-3810.
- Park SY, Choi JH, Wang S, Park SS. 2014. Design of a water quality monitoring network in a large river system using the genetic algorithm. *Ecological Modelling*. 199(3): 289-297.
- Peters HJ. 1972. Criteria for groundwater level data networks for hydrologic and modeling purposes. *Water Resources Research*. 8(1): 194-200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/WR008i001p00194>
- Rahnama MR. 2021. Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030. *Sustainable Cities and Society*. 64: 102548.
- Ran Y, Li X, Ge Y, Lu X, Lian Y. 2015. Optimal selection of groundwater-level monitoring sites in the Zhangye Basin, Northwest China. *Journal of Hydrology*. 525: 209-215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.059>
- Saaty TL, Vargas LG. 2012. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process (International Series in Operations Research and Management Science, Vol. 175)*. Springer.
- Sama A, Hamid A, Parviz A, Sirus J. 2020. Optimal design of groundwater monitoring networks using gamma test theory. *Hydrogeology Journal*. 28(4): 1389-1402.
- Sánchez-Martos F, Jimenez-Espinosa R, Pulido-Bosch A. 2001. Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: A case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. *Hydrological Sciences Journal*. 46(2): 227-242.
- Sattari MT, Mirabbasi R, Sushab RS, Abraham J. 2018. Prediction of groundwater level in Ardebil plain using support vector regression and M5 tree model. *Groundwater*. 56(4): 636-646.
- Shelar A, Singh AV, Dietrich P, Maharjan RS, Thissen A, Didwal PN, Shinde M, Laux P, Luch A, Mathe V. 2022. Emerging cold plasma treatment and machine learning prospects for seed priming: a step towards sustainable food production. *RSC advances*. 12(17): 10467-10488.
- Singh CK, Katpatal YB. 2020. A Review of the historical background, needs, design approaches and future challenges in groundwater level monitoring networks. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 13(2): 191-201. <https://doi.org/10.25103/jestr.132.22>
- Singh KP, Malik A, Sinha S. 2013. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques (Case study). *Analytica Chimica Acta*. 538(1-2): 355-374.
- Singh LK, Jha MK, Chowdary VM. 2019. Assessing the accuracy of GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis approaches for mapping groundwater potential. *Ecological Indicators*. 103: 194-209.
- Singha K, Navarre-Sitchler A. 2022. The importance of groundwater in critical zone science. *Groundwater*. 60(1): 27-34.
- Strobl RO, Robillard PD, Shannon RD, Day RL, McDonnell AJ. 2016. A water quality monitoring network design methodology for the selection of critical sampling points: Part I.

Environmental Monitoring and Assessment. 112(1): 137-158.

Tara F, Bazrafshan O. 2023. Spatial and temporal analysis of groundwater quality of Shamil-Ashkara aquifer. Journal of Rainwater Catchment Systems. 11 (3) : 59-72. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/jrwcs.2023.363999.1235>

Wang S, Zhang K, Chao L, Li D, Tian X, Bao H, Chen G, Xia Y. 2021. Exploring the utility of radar and satellite-sensed precipitation and their dynamic bias correction for integrated prediction of flood and landslide hazards. Journal of Hydrology. 603: 126964.

Wang WC, Chau KW, Xu DM, Chen XY. 2015. Improving forecasting accuracy of annual runoff time series using ARIMA based on EEMD decomposition. Water Resources Management. 29(8): 2655-2675.

Yang FG, Cao SY, Liu, Xn, Yang KJ. 2008. Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. Journal of Hydrodynamics. 20(3): 339-346.

Yang YS, Kalin RM, Zhang Y, Lin X, Zou, L. 2018. Multi-objective optimization for sustainable groundwater resource management in a semiarid catchment. Hydrological Sciences Journal. 46(1): 55-72.

Yangxiao Z, Te Stroet CBM, Van Geer FC. 1991. Using kalman filtering to improve and

quantify the uncertainty of numerical groundwater simulations: 2. Application to Monitoring Network Design. Water Resources Research. 27(8): 1995-2006. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/91WR00510>

Yeh HC, Chen YC, Chang CH, Ho CH, Wei C. 2008. Rainfall network design using kriging and entropy. Hydrological Processes. 22(3): 340-346.

Zare M, Koch M. 2018. Groundwater level fluctuations simulation and prediction by ANFIS-and hybrid Wavelet-ANFIS/Fuzzy C-Means (FCM) clustering models: Application to the Miandarband plain. Journal of Hydro-Environment Research. 18: 63-76.

Zarkesh MK. 2005. Decision support system for floodwater spreading site selection in Iran. (PhD thesis, 222 pages). Wageningen University, Wageningen, the Netherlands.

Zhang Y, Guo F, Meng W, Wang XQ. 2016. Water quality assessment and source identification of Daliao river basin using multivariate statistical methods. Environmental Monitoring and Assessment. 188(6): 1-12.

Zhou, Y, Li W. 2016. A review of regional groundwater flow modeling. Geoscience Frontiers. 2(2): 205-214.



Optimization Groundwater Monitoring Network Design Using a Combined Data Mining and NSGA-II Genetic Algorithm Approach in the Shamil-Ashkara Aquifer, Hormozgan Province

Hamid Gholami^{1*}, Mojtaba Mohammadi², Maryam Zare³
Hourieh Zhatkesh Karmi⁴, Arash Jamshidi⁵

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

2- Assistant Professor, Department of Desert Management and Control, Faculty of Environmental Sciences, Planning and Sustainable Development, University of Saravan, Saravan, Iran

3- M.Sc., Department of Applied Research, Hormozgan Regional Water Company, Bandar Abbas, Iran

4- M.Sc., Department of Groundwater Resources Research, Hormozgan Regional Water Company, Bandar Abbas, Iran

5- M.Sc., Department of Protection and Operation of Water Resources of Minab, Minab, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Groundwater resources as a major portion of the world's freshwater reserves, play a vital role in meeting human needs and maintaining ecosystems. On the other hand, unsustainable extraction, climate change, and pollution have posed serious challenges to these valuable resources. Declining water levels, deteriorating quality, and land subsidence are among the negative consequences of excessive groundwater extraction. Effective and sustainable management of these resources requires precise monitoring and continuous assessment of their quantitative and qualitative status. Groundwater monitoring networks, by collecting data on water levels and quality, enable the evaluation of resource conditions and the identification of potential issues. On the other hand, the optimal design of these networks is challenging due to cost and operational constraints. The objective of this research was to investigate and optimize the existing network of observation wells in the Shamil-Ashkara aquifer, located in the northeast of Hormozgan province, using data mining and artificial intelligence methods, including Analytic Hierarchy Process (AHP), Principal Component Analysis (PCA), and the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II). In addition to examining improvements in monitoring network efficiency and reducing associated costs, this study also identified optimal locations for constructing new observation wells.

Materials and Methods

The study area, the Shamil-Ashkara plain in the northeast of Hormozgan province, covers an area of 321.93 km² and features diverse geological formations (including the Bangestan, The Aghajari, Gachsaran, Asmari, Razak, Hormuz, Gurpi, Mishan, and Quaternary alluvium).

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** hadesert64@gmail.com

Citation: Gholami, H., Mohammadi, M., Zare, M., Zhatkesh Karmi, H., Jamshidi, A. 2026. Optimization groundwater monitoring network design using a combined data mining and NSGA-II genetic algorithm approach in the Shamil-Ashkara aquifer, Hormozgan province. Watershed Management Research. 38(4): 23-52.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.368522.1614

Received: 08 February 2025, **Received in revised form:** 07 March 2025, **Accepted:** 18 March 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol.38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp. 23-52.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Studied aquifer was located within the Quaternary formations, and the land use comprised poor rangeland, agriculture, and residential areas. In this research, suitable locations for constructing observation wells were initially determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Eight criteria were considered, including the long-term average groundwater level, annual groundwater decline rate, slope of decline changes, density of exploitation wells, distance from the river, geological formation, land use, and distance from faults. The weight of each criterion was calculated using pairwise comparisons and Expert Choice software. Then, using ArcGIS software, final map prioritising suitable locations was prepared. In the next step, the current monitoring network was compared with the site selection results. Using Thiessen networks and calculating the average site selection scores in each polygon, less significant wells were identified. Homogeneity tests were performed on the less important wells to ensure the selection was correct. Then, using the PCA method, the relative importance of the monitoring wells was determined. By sequentially removing each well and calculating the correlation coefficient between the data of the remaining wells and the first principal component (PC1), the relative importance of each well was calculated. Additionally, the lack of certainty resulting from the removal of insignificant wells was assessed using the average coefficient of variation of groundwater levels. To investigate the effect of removing insignificant wells on interpolation error, the kriging method was used. Two scenarios were examined, including the use of all wells and the removal of insignificant wells, and the standard error and RMSE were calculated. At the end, using the NSGA-II algorithm, the optimal network of observation wells was determined. Two objective functions, including the number of observation wells and the minimum RMSE of groundwater level, were minimised. The IDW method was used to estimate the groundwater level in the deleted wells.

Results and Discussion

The results of AHP show that the highest priority for constructing observation wells was due to the concentration of agricultural activities, the high density of wells, and the severe decline in water levels in the southern and southeastern. In this analysis, the most important factor was the density criterion of exploitation wells with a weight of 0.327, followed by the criterion of groundwater level reduction (0.245) and land use (0.15). The inconsistency rate was calculated as 0.04, indicating an appropriate consistency of the expert judgments. Comparing the current monitoring network with the AHP results showed that five wells (W7, W9, W12, W14, and W16) had an average location score of less than 0.113, indicating they were unsuitable from a location perspective. The homogeneity tests of the data using the Pettitt method and a p-value of less than 0.05 also indicated the lack of homogeneity of the data from these wells. The results of PCA showed that the insignificant wells identified by this method (W8, W10, W18, W21 with correlation coefficients of less than 0.20) were different from the wells identified by the AHP method, and this difference was due to the differing structure and input data of the two methods. This is because in the PCA method, only water level data is used, whereas in the AHP method more criteria are considered. The analysis of the kriging results showed that the removal of insignificant wells based on AHP led to a decrease in the interpolation standard error from an average of 4.8 to 4.2 m. Additionally, the removal of wells based on PCA caused an increase in this error from 4.8 to 3.5 m. On the other hand, in both methods, the removal of less important wells led to an increase in RMSE. In the AHP method, the root mean square error decreased from 22.14 to 17.08 m (a 1.20% increase), while in the PCA method it changed from 22.14 to 41.14 m (a 3.1% increase). The NSGA-II algorithm for the monitoring network proposed an optimal configuration of 16 wells, which represented a 43% reduction in the number of wells compared to the initial network of 28 wells. Moreover, the RMSE only increased by 7.3% (from 22.14 to 26.15 m). The coefficient of variation of groundwater level in the optimal network was calculated to be 0.89, which was close to its value in the main network (0.92). This finding indicates the preservation of important hydrogeological information in the reduced network.

Conclusion and Suggestions

The AHP method for determining optimal locations for observation wells was effective and its use is also recommended in other plains. Furthermore, it is suggested to employ other variables and the output of groundwater models to enhance the efficiency of this method. Additionally, the use of PCA and NSGA-II methods will lead to the optimisation of monitoring networks.

Keywords: AHP, Dasht Shamil-Ashkara, groundwater, Hormozgan, monitoring network

Article Type: Research Article

Acknowledgement

This article is derived from a research project titled “Evaluation, Design, and Optimization of Groundwater Monitoring Networks Based on Artificial Intelligence (Shamil and Ashkara Plains), commissioned by the Hormozgan Regional Water Company. Accordingly, the authors of this article express their gratitude to the aforementioned company for its financial support in the implementation of this project.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Data Availability Statement

The data and results used in this research will be made available to the reader upon request to the corresponding author.

Authors' Contribution

Author 1 : Analysis of data, writing, supervision, software, research

Author 2: Software, research, analysis of data, writing

Author 3: Research, supervision

Author 4: Research

Author 5: Research



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآخذ تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

تحلیل گروه‌های مشارکتی در بستر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آبخیز بنچله استان کرمانشاه

عادل سلطانی^{۱*}، رضا قضاوی^۲، سیامک دخانی^۳

- ۱- مربی گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
- ۲- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
- ۳- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

حکمرانی پایدار منابع طبیعی مجموعه‌ای از کنش و واکنش‌های اجتماعی نهادی محلی تمام سودبران آبخیزنشینان است. این رویکرد با فراهم آوردن محیط مناسب برای ارائه الگوهای فرایندهای مشارکتی، بستر مناسبی برای تقویت جامعه هدف در کنار دولت و بخش خصوصی به‌شمار می‌آید. با توجه به پیچیدگی مسائل مربوط به منابع طبیعی، اداره آن به شیوه مطلق جوابگوی مشکلات موجود نیست؛ به این دلیل در سال‌های گذشته رویکردهای بی‌شماری در این زمینه ارائه شده است که از جمله مهم‌ترین رویکردها می‌توان به اهمیت نقش مشارکت جامعه محلی در کنار حکمرانی پایدار اشاره کرد. زیرا، با بررسی نقش مشارکت در دسترس مرتع‌داران و ارتباط میان آن‌ها زمینه لازم برای تعیین خط‌مشی کارآمد به‌منظور ارتقای سطح مشارکت ارادی مرتع‌داران فراهم می‌آید. پایداری برنامه‌های مدیریت آبخیز به مشارکت فعال آبخیزنشینان در فعالیتهای برنامه‌ریزی و اجرا بستگی دارد. افزون‌براین، بررسی ویژگی‌های جمعیتی هر آبخیز به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر مشارکت آبخیزنشینان، اهمیت دارد. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی عوامل‌های جمعیت‌شناختی به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر مشارکت آبخیزنشینان، در آبخیز بنچله کرمانشاه که نشان‌دهنده تفاوت اهداف مدیریت مرتع در میان سودبران بود، اجرا شد. و نیز افزون بر این، اندازه مشارکت مرتع‌داران در دستیابی به اهداف مشخصی از مدیریت مراتع نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از دیدگاه هدف، کاربردی و از دیدگاه روش پژوهش در دسته پژوهش‌های توصیفی-پیمایشی و از دیدگاه ماهیت داده‌ها، در دسته پژوهش‌های کمی بود. جامعه هدف شامل بهره‌برداران محدوده عرفی آبخیز بنچله بودند.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: Soltani@pnu.ac.ir

استناد: سلطانی، ع.، قضاوی، ر.، دخانی، س. ۱۴۰۴. تحلیل گروه‌های مشارکتی در بستر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آبخیز بنچله استان کرمانشاه. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۴): ۷۱-۵۳.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.369261.1620

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۵۳ تا ۷۱.

نویسندگان

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



جامعه آماری مد نظر در این پژوهش به تعداد ۵۶۹ سرپرست خانوار بود. حجم نمونه این پژوهش با استفاده از فرمول کوکران ۲۲۹ سرپرست خانوار متشکل از زن و مرد تعیین شد. به منظور انتخاب نمونه‌ها از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده شد. ابزار استفاده‌شده در این روش برای گردآوری داده‌ها و اطلاعات، پرسش‌نامه بود. روایی پرسش‌نامه بر اساس دیدگاه متخصصان و پایایی آن با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ تأیید شد (آلفا بزرگ‌تر از ۰/۷). تجزیه و تحلیل داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. گویه‌های مشارکتی در این پژوهش با اهداف مهار رواناب و مهار سیلاب، پیشگیری از فرسایش خاک و هدایت آب به سطح سفره‌های آب زیرزمینی در آبخیز بنچله تعیین شدند. پرسش‌ها بر محور متغیرهای جمعیتی متمرکز بودند که بر متغیر مشارکت آبخیزنشینان تأثیرگذار بودند. در بخش تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده، از آماره توصیفی میانگین و آماره‌های استنباطی پیرسون، اسپیرمن و کروسکال‌والیس استفاده شد. به‌طوری‌که برای بررسی رابطه میان متغیرهای سن، درآمد، سابقه آبخیزداری، بُعد خانوار، فاصله آبخیز از محل زندگی و تحصیلات از آماره پیرسون و برای بررسی رابطه میان متغیر جنسیت با اندازه مشارکت از آزمون اسپیرمن استفاده شد. هم‌چنین، برای بررسی رابطه میان سطوح مختلف متغیرها بر مبنای اندازه مشارکت آن‌ها از آماره خی‌دو استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که رابطه میان متغیرهای سن، درآمد، فاصله آبخیزنشینان از محل طرح، سابقه آبخیزداری و بُعد خانوار با مشارکت آبخیزنشینان، مثبت و معنی‌دار بود. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داد که رابطه متغیر جنسیت با مشارکت افراد در آبخیز بنچله، معنادار نبود. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال‌والیس نشان داد که به‌جز متغیر جنسیت رابطه میان دیگر متغیرهای سن، درآمد سالانه، سابقه آبخیزداری، سطح تحصیلات، فاصله آبخیز از محل زندگی و بُعد خانوار با مشارکت معنادار بود. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال‌والیس نشان داد که تفاوت مشارکت در میان ۱۲ روستای پژوهش‌شده معنی‌دار بود. بیشترین میانگین مشارکت مربوط به روستاهای بابا عزیز (۵۱/۱۱) و کمترین اندازه مشارکت مربوط به روستاهای گل‌سفید (۲۳/۹) بود. بر پایه نتایج این پژوهش، بررسی عامل‌های مختلف جمعیتی در ارزیابی سطح مشارکت آبخیزنشینان ضروری خواهد بود. نتایج بیانگر آن بود که افراد با سطح سواد کمتر به‌دلیل وابستگی معیشتی بیشتر به آبخیزها تمایل بیشتری نیز به مشارکت در اجرای طرح‌های حفاظتی داشتند. با افزایش بُعد خانوار و بهبود وضعیت معیشتی خانوار، تمایل به مشارکت در طرح‌های حفاظت از منابع آب و خاک و بهره‌مندی از مزایای آن نیز افزایش خواهد یافت. بر اساس نتایج این پژوهش عامل جنسیت پیش‌بینی‌کننده مؤثری برای مشارکت افراد در طرح‌های مدیریتی منابع طبیعی معرفی نشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اهمیت آبخیزداری به‌عنوان رویکردی جامع‌نگرانه در مدیریت پایدار منابع آب و خاک در زمینه‌های آبخیزداری است. در این میان عامل‌های جمعیتی از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر مشارکت به‌شمار می‌آیند. در ایران یکی از راه‌های دستیابی به پایداری و بهره‌برداری اصولی جامعه از آبخیزها، بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی است. عامل‌های جمعیتی شاکله اصلی رفتار جامعه در برابر منابع آب و خاک را تشکیل می‌دهند. از سوی دیگر، رفتار افراد در آبخیز نیز ضامن سلامت آبخیز خواهد بود. به‌جز عامل جنسیت، اثر عامل‌های گوناگون جمعیتی از جمله سن، سابقه آبخیزداری، درآمد سالانه، سطح تحصیلات، بُعد خانوار و فاصله آبخیزنشینان از آبخیز، بر مشارکت متفاوت بود. این تفاوت بیشتر به‌دلیل درک منابع آب و خاک و وضعیت معیشتی جامعه‌های محلی بود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود جدا از شرایط اقتصادی و اجتماعی باید برای همه قشرها در آبخیز بنچله استان کرمانشاه، برنامه‌های آموزشی تعریف شود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که منابع درآمدی متنوعی برای جامعه‌های هدف فراهم شود و به‌منظور مشارکت فعالانه جامعه در برنامه‌های

حفاظت از منابع آب و خاک، آموزش کارآمد و بسته‌های حمایتی مالی در اختیار گروه‌های مختلف آبخیزنشینان قرار بگیرد.

واژگان کلیدی

آبخیز بنجله، بهره‌برداری از منابع آب و خاک، پرسش‌نامه، جمعیت شناختی، مشارکت

مقدمه

اجتماعی روبرو هستند (کلمنتس و همکاران ۲۰۱۳؛ چاودهای و همکاران ۲۰۱۴؛ می و همکاران ۲۰۱۲). در این زمینه، توجه به اهداف و انگیزه‌های حفاظتی مرتع‌داران ضروری است (وانیو و همکاران ۲۰۱۸). از روش‌های بهره‌برداری پایدار منابع طبیعی استفاده از طرح‌های تلفیقی چندمنظوره مانند زنبورداری و زراعت است که جزو بهره‌برداری‌های بالقوه آبخیزها و مرتع به‌شمار می‌آید که می‌تواند به حفظ و احیای این منابع مهم و نیز افزایش درآمد برای سودبران محلی کمک کند (رستگار و همکاران ۲۰۲۳). یکی از مهم‌ترین اهداف سیاست‌های مدیریت جامع در آبخیزهای کشور، تقویت مشارکت جامعه‌های محلی در طرح‌های توسعه‌ای است (بهمل و همکاران ۲۰۱۸). بر این اساس، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری صحیح در آبخیزهای مناطق مختلف کشور مستلزم شناخت ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی و جمعیتی این آبخیزها است. با توجه به اجرای طرح‌های آبخیزداری در مناطق گسترده‌ای از کشور، شواهد بیانگر آن است که نبودن و یا کم بودن مشارکت جامعه‌های محلی می‌تواند نقش منفی در کمیت، کیفیت، تداوم و نتایج طرح‌های حفاظت از آب‌و خاک داشته باشد (رابت و همکاران ۲۰۲۳). موفقیت در طرح‌های آبخیزداری به‌طور کامل به مشارکت جامعه‌های محلی در مراحل مختلف طرح بستگی دارد. نتایج ارزیابی‌های مختلف بیانگر آن است که موفقیت طرح‌هایی که جامعه‌های محلی در اجرای آن‌ها مشارکت داشته‌اند و یا با توجه به نیازهای جامعه طراحی و اجرا شده‌اند، بیشتر است (مصفايي و همکاران ۲۰۲۳). مشارکت فرآیندی اجتماعی، عام، جامع، چندبعدی و چندفرهنگی است که هدف آن کشاندن همه مردم به ایفاء نقش در همه

افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از منابع موجود در آبخیزها منجر به ویرانی منابع آب و خاک شده است. نتیجه بهره‌برداری غیراصولی از آبخیزها، افزایش تعداد و بزرگی سیلاب‌های ویران‌گر و هم‌چنین فرسایش خاک است (نور و همکاران ۲۰۲۲). مدیریت آبخیز به‌عنوان یک فرآیند همواره در حال تکامل، باید با رویکردهای خود تعریف و توسعه یابد. این رویکردها که در طول زمان توسعه می‌یابند، عناصر اصلی هدایت این فرآیند برای دستیابی به سلامت و پایداری آبخیز می‌باشند (صالح‌پور جم و مصفايي ۲۰۲۳). ارزیابی‌های انجام‌شده وضعیت منابع طبیعی در سطح جهانی، بیانگر تغییرات شدید در پیچیدگی و دامنه مسائل زیست‌محیطی در دهه‌های پیشین است (محمدی و همکاران ۲۰۲۴). در این راستا، رویکردهای مشارکتی طرح‌های آبخیزداری به‌عنوان رویکردی جامع و مناسب در مدیریت پایدار منابع آبخیزها و مراتع حائز اهمیت است (واروا و همکاران ۲۰۱۷؛ لو و همکاران ۲۰۲۵). برنامه‌های حفاظتی در مراتع شامل فعالیت‌های زیستی (بذرکاری، کپه‌کاری و بذرپاشی)، فعالیت‌های سازه‌ای (بند خشکه‌چین، ساخت بانکت و بند سنگی سیمانی) و فعالیت‌های مدیریت چرا (تعداد دام مجاز، زمان ورود و خروج دام، قُرق و تهیه آبشخوار) است (کریمی و همکاران ۲۰۱۶). هدف از اجرایی کردن این برنامه‌ها، اصلاح و احیای مراتع است (وجدانی و همکاران ۲۰۱۹؛ احمدی و همکاران ۲۰۲۱). حفاظت از مراتع، نیازمند همکاری میان بهره‌برداران، کارشناسان منابع طبیعی و دیگر فعالان در بخش حفاظت از منابع طبیعی از جمله فعالان محلی و فعالان محیط‌زیست است. اما برنامه‌های حفاظتی در سراسر جهان هم با مشکلاتی مانند پذیرش نشدن

مراحل حفاظت از منابع طبیعی است (اهتا و همکاران ۲۰۲۰). به‌طور کلی، دو شیوه مشارکتی وجود دارد. شیوه اول، مربوط به افرادی است که در اجرای طرح‌های حفاظتی مشارکت می‌کنند و یا مشارکت نمی‌کنند. شیوه دوم، مشارکت یا به‌طور دائم است و بهره‌برداران در همه مراحل طرح‌ها مشارکت خواهند کرد و یا اینکه مشارکت موقتی است و بهره‌برداران صرفاً در برخی از طرح‌ها و یا برخی از مراحل طرح‌ها مشارکت خواهند داشت (وانیو و همکاران ۲۰۱۸). مشارکت مبتنی بر ابعاد سرمایه‌های اجتماعی از جمله اعتماد، تبادل اطلاعات یا دانش و اهداف مشترک است (هیدنپا و بورگستورم ۲۰۱۴). برای مثال، با وجود اینکه اغلب تفاوت‌های میان افراد، اعتماد را کاهش می‌دهند؛ اما در این شرایط روابط اجتماعی باعث انتقال دانش در میان افراد شده و تسهیل‌کننده اعتماد خواهند بود (استول و همکاران ۲۰۰۸). مشارکت جامعه‌های محلی در طرح‌های حفاظت از آب و خاک نقشی اساسی در موفقیت و پایداری این اقدامات دارد. با این حال، اندازه مشارکت آب‌خیزنشینان تحت تأثیر عامل‌های پرشماری است که شناخت دقیق آن‌ها می‌تواند به بهبود سیاست‌گذاری‌ها و اجرای بهتر این طرح‌ها کمک کند. در این راستا، قاباخلو و همکاران (۲۰۲۴) عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های بیابان‌زدایی در شهرستان گرمسار را با هدف شناسایی معیارها و شاخص‌های مؤثر بر آن بررسی کردند. در این پژوهش معیارها و شاخص‌ها بر اساس دیدگاه کارشناسان و با استفاده از پرسش‌نامه و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با طیف لیکرت، تعیین شدند. نتایج این پژوهش نشان داد معیار آموزشی (۰/۴۸)، مهم‌ترین معیار نبود مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی از دیدگاه کارشناسان بود و معیارهای برنامه‌ریزی (۰/۲۹)، اقتصادی (۰/۱۳) و اجتماعی (۰/۰۷)، در اولویت‌های بعدی بودند. در پژوهشی مصفایی و همکاران (۲۰۲۰) عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت جامعه‌های روستایی در طرح‌های آب‌خیزداری نیرنج قزوین را پس از تعیین حجم نمونه به‌وسیله فرمول کوکران و تکمیل

پرسش‌نامه‌ها با کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و آزمون فریدمن شناسایی و اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که نقش شاخص‌های مدیریتی و اقتصادی در نبود مشارکت مردم در مقایسه با شاخص‌های اجتماعی و آموزشی و ترویجی بیشتر بود. نتیجه کلی این بود که نظرسنجی از جامعه‌های محلی، تمرکززدایی قدرت تصمیم‌گیری، فعالیت نهادهای مردمی و آموزش بهره‌برداران به‌همراه عامل‌هایی چون اجرای طرح‌های چندمنظوره و در نظر داشتن منافع آب‌خیزنشینان می‌تواند زمینه‌ساز اعتماد و جلب مشارکت فعال مردم در طرح‌های آب‌خیزداری باشد. رابت و همکاران (۲۰۲۳) موانع مشارکت جامعه‌های محلی در فرایند اجرای طرح‌های آب‌خیز آریاچای زنجان را بررسی کردند. اهداف این پژوهش شامل شناخت ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی جامعه‌های محلی، شناسایی شاخص‌های مؤثر بر کاهش موانع و افزایش مشارکت مردمی در اجرای طرح‌های منابع طبیعی و آب‌خیزداری، شناخت انتظارات و نیازهای جامعه محلی بود. در پژوهش بالا چهار شاخص تأثیرگذار اجتماعی-فرهنگی، اقتصادی، طبیعی و مدیریتی، با ۴۰ زیرشاخص تعیین و دسته‌بندی شدند. اطلاعات لازم به‌شکل پیمایشی و با استفاده از ابزار پرسش‌نامه، مصاحبه و نشست‌های پرشمار با افراد جامعه و خبرگان محلی، جمع‌آوری شد و نتایج نشان داد که نبود اطلاع و آگاهی جامعه محلی از جنبه‌ها و منافع مثبت اقتصادی، اجتماعی، طبیعی و فنی به‌دست‌آمده از اجرای طرح‌های منابع طبیعی و آب‌خیزداری در محدوده زیست و تولید آن‌ها، یکی از موانع مهم در نبود مشارکت و محقق نشدن اهداف پیش‌بینی‌شده در اجرای طرح‌های آب‌خیزداری و منابع طبیعی در محدوده پژوهش شده است.

مدیریت آب‌خیزها در کشورهای درحال توسعه در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی برای تضمین حفاظت از منابع آب و خاک در برنامه‌های ملی و منطقه‌ای گنجانده شده است (دارقوس و همکاران ۲۰۰۸). با این حال بسیاری از برنامه‌ها به‌دلیل توجه نداشتن به ویژگی‌های خاص موجود در جامعه‌های

محل‌ی نتایج مطلوبی نداشته‌اند (جانسون و همکاران ۲۰۰۲). یکی از مهم‌ترین این ویژگی‌ها، عامل‌های جمعیت‌شناختی است (ترفدار و همکاران ۲۰۲۴). جنسیت، سن و تحصیلات از مشخصه‌های جمعیتی می‌باشند (علی‌بیگی و بنی‌عامریان ۲۰۰۹). عامل‌های دیگری از جمله درآمد، بُعد خانوار، سابقه فعالیت، فاصله از محل زندگی از ویژگی‌های جمعیتی بوده و بر مشارکت افراد تأثیرگذار است (جیهونی ۲۰۲۲). اسفا و همکاران (۲۰۲۴) عامل‌های مؤثر بر تصمیم افراد برای مشارکت در برنامه مدیریت آبخیزداری در ناحیه بوست در اتیوپی را بررسی کردند و دریافتند که موقعیت یا نزدیکی آبخیزها با محل زندگی افراد در اندازه مشارکت آن‌ها در برنامه‌های آبخیزداری مؤثر است. رابت و همکاران (۲۰۲۳) موانع مشارکت جامعه‌های محلی در فرآیند اجرای طرح‌های آبخیزداری و منابع طبیعی، آبخیز آریاچای در استان زنجان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عامل درآمد، تأثیر زیادی در اندازه مشارکت جامعه در اجرای طرح‌های آبخیزداری دارد. جیهونی (۲۰۲۲) عناصر تشکیل‌دهنده اندازه مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های آبخیزداری در آبخیز رود بزرگ نائین در استان اصفهان را تحلیل کردند و گزارش کردند که سطح تحصیلات و اندازه درآمد پیش‌بینی‌کننده‌های مشارکت جامعه‌ها در طرح‌های آبخیزداری است. بالتا و همکاران (۲۰۲۲) مشارکت افراد در مدیریت آبخیزداری در ناحیه سودو زوریا در جنوب اتیوپی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که سطح تحصیلات و دوری و نزدیکی آبخیز نسبت به محل زندگی جامعه‌های محلی نقش مهمی در مشارکت آن‌ها دارد. گالاتی و همکاران (۲۰۲۳) عامل‌های مؤثر بر مشارکت شهروندان در مدیریت منابع طبیعی در شهر پالرمو در ایتالیا را شناسایی کردند و نقش سه ویژگی جمعیت‌شناختی از جمله جنسیت، درآمد و بُعد خانوار را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد رابطه درآمد و بُعد خانوار با مشارکت افراد معنادار بود اما، رابطه متغیر جنسیت با مشارکت معنادار نبود. هانسن

و همکاران (۲۰۲۵) نقش ویژگی‌های جمعیت‌شناختی در رفتار و نگرش افراد در برنامه‌های مشارکتی در آلمان، مشخصه‌های جمعیتی از جمله درآمد، سن، سابقه فعالیت و جنسیت را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه سن و درآمد با مشارکت افراد معنادار بود اما، جنسیت پیش‌بینی‌کننده مناسبی برای مشارکت افراد نیست. مصفایی و صالح‌پور جم (۲۰۲۱) عامل‌های بازدارنده مشارکت مردم روستایی در طرح‌های حفاظت خاک و آب آبخیز ورس با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فریدمن اولویت‌بندی کردند و دریافتند افزون بر دیدگاه کارشناسان و سیاست‌گذاران باید دیدگاه سودبران را نیز بر عامل‌های بازدارنده مشارکت آن‌ها در نظر بگیرند. این یافته‌ها می‌تواند برای مسئولان اجرایی مناسب و کاربردی باشد، زیرا رفع این موانع مشارکت، به‌ویژه موانع اولویت‌دار، سطح مشارکت سودبران را افزایش می‌دهد. نتایج پژوهش بقایی و همکاران (۲۰۰۸) در آبخیز زرچشمه هونجان اصفهان بیانگر آن بود که متغیرهای فردی و اجتماعی و از همه مهم‌تر متغیر سن بر مشارکت جامعه‌های محلی در اجرای طرح‌های آبخیزداری مؤثر است. در راستای مدیریت پایدار آبخیزها، برنامه‌ریزی مشارکتی در محدوده هر آبخیز لازم است. ویژگی‌های جمعیتی از جمله سن، درآمد، بُعد خانوار، فاصله آبخیزنشینان از محل طرح، سطح تحصیلات و جنسیت از جمله عامل‌های مهمی هستند که باید در مدیریت، بررسی و شناسایی شوند. این موضوع به مدیران و تصمیم‌گیرندگان کمک خواهد کرد تا با شناخت دقیق از شرایط اجتماعی موجود زمینه را برای حضور جامعه‌های محلی در فرآیند مدیریت و اجرای طرح‌ها فراهم آورند. ازاین‌رو، در آبخیز بنچله در استان کرمانشاه، بررسی عامل‌های جمعیت‌شناختی به‌عنوان یکی از عامل‌های مؤثر بر مشارکت آبخیزنشینان ضرورت دارد و در راستای دستیابی به این هدف ویژگی‌های جمعیتی در آبخیز بنچله در استان کرمانشاه شناسایی و بررسی شد.

مواد و روش‌ها

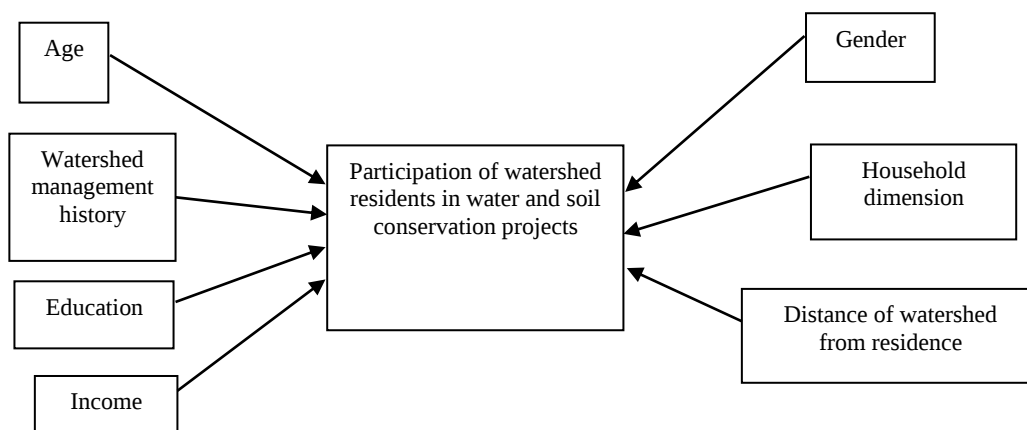
معرفی منطقه پژوهش‌شده

آبخیز بنچله در طول $46^{\circ}34'20''$ تا $46^{\circ}42'07''$ شرقی و عرض $34^{\circ}40'49''$ تا $34^{\circ}49'49''$ شمالی در غرب استان کرمانشاه و در شهرستان روانسر است. مساحت این منطقه $9545/6$ هکتار و میانگین بلندی آن از سطح دریا $1493/3$ متر است. شهرستان روانسر بر اساس سرشماری سال 1386 سه دهستان به نام‌های بدرآباد، دولت‌آباد و حسن‌آباد دارد که آبخیز بنچله یکی از آبخیزهای دهستان بدر است. تعداد 13 روستا نیز در آبخیز بنچله است. جمعیت دهستان بدر 6856 نفر که مشتمل بر 1223 خانوار است (شکل ۲).

روش پژوهش

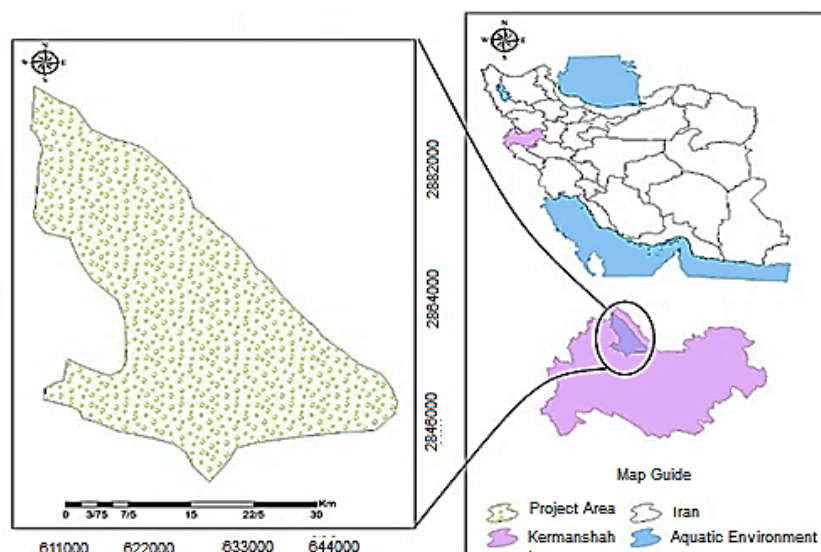
جامعه آماری در این پژوهش شامل ساکنان آبخیز بنچله بودند که بر اساس بررسی‌های میدانی تعداد آن‌ها 569 سرپرست خانوار تعیین شد. برای انجام این پژوهش، بر اساس فرمول کوکران 229 سرپرست خانوار مشتمل بر مرد و زن به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. سپس، با پیمایش در منطقه و به‌شکل تصادفی، داده‌های لازم با پرسش‌نامه، مصاحبه و مشاهده مستقیم، جمع‌آوری شد. سؤالات این پژوهش بر مبنای طیف لیکرت طراحی شد. در این پژوهش از طیف 5 گزینه‌ای لیکرت برای بیان اندازه اهمیت یا وضعیت متغیر مشارکت در بستر ویژگی‌های جمعیتی از

مقیاس‌های خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) استفاده شد. گویه‌های مشارکتی بررسی‌شده در 12 سامان عرفی و با اهداف مهار رواناب و مهار سیلاب، پیشگیری از فرسایش خاک و هدایت آب به سطح سفره‌های آب زیرزمینی در آبخیز بنچله تعیین شدند (جدول ۱). روایی محتوایی پرسش‌نامه با استفاده از تخصص اساتید دانشگاه کاشان تأیید شد. همچنین، به‌منظور بررسی پایداری درونی سؤالات پرسش‌نامه از روش سنجش پایایی ضریب آلفای کرونباخ در نرم‌افزار SPSS نسخه 26 و از آزمون قابلیت اعتبار استفاده شد. پرسش‌ها بر محور متغیرهای جمعیتی متمرکز بود که بر متغیر مشارکت آبخیزنشینان تأثیرگذار بودند. در بخش تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده از آماره توصیفی میانگین و آماره‌های استنباطی پیرسون، اسپیرمن و خی‌دو استفاده شد. به‌طوری‌که برای بررسی رابطه میان متغیرهای سن، درآمد، سابقه آبخیزداری، بُعد خانوار، فاصله آبخیز از محل زندگی و تحصیلات از آماره پیرسون و برای بررسی رابطه میان متغیر جنسیت با اندازه مشارکت از آزمون اسپیرمن استفاده شد. همچنین، برای بررسی رابطه میان سطوح مختلف متغیرها بر مبنای اندازه مشارکت آن‌ها از آماره خی‌دو استفاده شد. بر پایه نتایج پژوهش‌های پرشمار پیشین، چارچوب نظری پژوهش رسم شد (شکل ۱).



شکل ۱- چارچوب نظری پژوهش.

Figure 1- Theoretical framework of the research.



شکل ۲- آبخیز بنچله در استان کرمانشاه (منطقه پژوهش شده).

Figure 2- Benchale Watershed in Kermanshah Province (study area).

جدول ۱- آلفای کرونباخ و اهداف تعیین شده گویه‌های مشارکتی در مرحله اجرای طرح‌های حفاظت از آب و خاک.

Table 1- Cronbach's alpha and the set goals of the participation items in the implementation phase of water and soil conservation projects.

Partnership Goals	Cronbach's alpha	Watershed residents' participation items in the Benchele watershed	Row
- Runoff control and flood control - Preventing soil erosion - Directing water to the surface of groundwater aquifers	0.92	Watershed residents' care of projects after their completion	1
		Participation in the construction project of a cement-mortar flood dam	2
		Participation in the construction of terraces	3
		Participation in the flood distribution project	4
		Participation in the construction of banquet halls	5
		Participation in the project to build small watersheds	6
		Cooperation of watershed residents with experts in the project planning phase	7
		Cooperation of watershed residents with experts in the location selection phase for flood dam construction	8
		Participation in the gabion dam construction project	9
		Positive attitude and intention of watershed residents towards water and soil conservation	10

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت مشارکت در ۱۲ روستای پژوهش‌شده در آبخیز بنچله در استان کرمانشاه در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. همچنین، بیشترین میانگین مشارکت مربوط به روستاهای بابا عزیز، بدرآباد و بناوچ و کمترین اندازه مشارکت مربوط به روستاهای گل‌سفید و کانی کچکینه بود (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده از آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که رابطه میان متغیرهای سن، درآمد، فاصله آبخیز از محل زندگی،

سابقه آبخیزداری و بُعد خانوار با مشارکت آبخیزنشینان مثبت و معنی‌دار بود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داد که رابطه متغیر جنسیت با مشارکت افراد در آبخیز بنچله معنادار نبود (جدول ۳).

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت میان جنسیت با مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های حفاظت از آب‌و‌خاک معنی‌دار نبود (جدول ۴).

جدول ۲- سطوح مشارکت در میان آبخیزنشینان در آبخیز بنچله.

Table 2- Levels of participation among watershed residents in the Benchale Watershed.

Meaningfulness	Khi two	Average participation rate	Number of watershed residents (statistical population)	Customary system	Row
0.001	15.247	51.11	37	Baba Aziz	1
		47.46	84	Badrabad	2
		46.29	29	Banauch	3
		43.41	102	Benchele	4
		40.36	37	Zirjoubi	5
		36.47	50	Sardam	6
		35.49	20	Salkan	7
		32.18	57	Sadeghabad	8
		29.35	16	Qalanjeh	9
		27.7	25	Kani Khezran	10
		24.58	29	Kani Kechkina	11
		23.9	91	Gel Sefid	12
Lowest participation: 21		Highest participations: 54	df =11		

جدول ۳- ارتباط میان متغیرهای زمینه‌ای با مشارکت آبخیزنشینان.

Table 3- Relationship between contextual variables and watershed residents' participation.

Education	Household size (number of family members)	Watershed management history	Income	Age	Distance of watershed from residence	Gender	
						0.112	Spearman's correlation coefficient
0.415	0.390	0.315	0.442	0.293	-0.397		Pearson correlation coefficient
0.0	0.001	0.007		0.022	0.001	0.186	Significance level

جدول ۴- تفاوت میان جنسیت در مشارکت مصاحبه‌شوندگان.

Table 4 - Gender differences in interviewee participation.

Sig	Khi two	Average participation and behavior of watershed Residents in water and soil conservation projects	Status	Variable
0.166	2.06	38.18	Man (1)	Gender
		33.16	Woman (2)	

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت میان گروه‌های مختلف سنی با مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های حفاظت از آب‌و خاک در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از میانگین مشارکت آبخیزنشینان در گروه‌های مختلف نشان داد که، بیشترین مشارکت مربوط به گروه ۵۱ تا ۶۵ سال و کمترین مشارکت مربوط به گروه کمتر از ۳۵ سال بود (جدول ۵).

جدول ۵- تفاوت میان گروه‌های مختلف سنی در مشارکت مصاحبه‌شوندگان.

Table 5 - Differences between different age groups in the participation of interviewees

Sig	Khi two	Average participation and behavior of watershed residents in water and soil conservation projects	Status	Variable
0.008	14.022	18.5	< 35	Age
		30.18	35 -50	
		45.12	51 -65	
		38.75	> 65	

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت میان فاصله آبخیز از محل زندگی آبخیزنشینان با مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های حفاظت از آب و خاک در سطح ۹۹٪ منفی و معنی‌دار بود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از میانگین مشارکت آبخیزنشینان در گروه‌های مختلف فاصله آبخیز از محل زندگی نشان داد که بیشترین مشارکت مربوط به گروه فاصله کمتر از یک کیلومتر و کمترین مشارکت مربوط به گروه بیشتر از ۳ کیلومتر بود (جدول ۶).

جدول ۶- تفاوت میان گروه‌های مختلف فاصله آبخیز از محل زندگی با مشارکت آبخیزنشینان.

Table 6 - Differences between different classes of distance from the watershed to the place of residence with the participation of watershed residents.

Sig	Khi two	Average participation and behavior of watershed residents in water and soil conservation projects	Status	Variable
-0.008	15.072	36.28	< 1	Distance from the area to the place of residence
		29.46	1-2	
		16.1	2-3	
		15.8	> 3	

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت میان گروه‌های تعریف‌شده سابقه آبخیزداری با مشارکت و رفتار آبخیزنشینان در طرح‌های حفاظت از آب و خاک در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از میانگین مشارکت و رفتار در گروه‌های مختلف نشان داد که بیشترین مشارکت مربوط به گروه ۵۱ تا ۶۵ سال و کمترین مشارکت مربوط به گروه کمتر از ۳۵ سال بود (جدول ۷).

جدول ۷- تفاوت میان گروه‌های مختلف سابقه آبخیزداری در مشارکت.

Table 7- Differences between different classes of watershed management experience in partnership

Sig	Khi two	Average participation and behavior of watershed residents in water and soil conservation projects	Status	Variable
0.009	14.015	13.13	< 35	Watershed management history
		24.44	35 - 50	
		50.39	51 - 65	
		26.33	> 65	

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت میان گروه‌های مختلف تحصیلات با مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های حفاظت از آب و خاک در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از میانگین مشارکت آبخیزنشینان در گروه‌های مختلف نشان داد که بیشترین مشارکت مربوط به گروه بی‌سواد و کمترین مشارکت مربوط به گروه راهنمایی بود (جدول ۸).

جدول ۸- تفاوت میان گروه‌های مختلف تحصیلات در مشارکت و رفتار مصاحبه‌شوندگان

Table 8 - Differences between different education levels in the participation and behavior of interviewees

Sig	Khi two	Average participation and behavior of watershed residents in water and soil conservation projects	Status	Variable
0.006	14.61	39.43	Illiterate (0)	Education
		33.63	Elementary (1-5)	
		12.67	Guidance (6-9)	
		28.5	Secondary and above (more than 9)	

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که، تفاوت میان گروه‌های تعریف‌شده درآمد سالانه با مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های حفاظت از آب و خاک در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از میانگین مشارکت آبخیزنشینان مربوط به گروه‌های مختلف نشان داد که بیشترین اندازه مشارکت مربوط به گروه با درآمد سالانه بیشتر از ۱۰ میلیون تومان و کمترین اندازه مشارکت مربوط به گروه با درآمد سالانه کمتر از ۶ میلیون تومان بود (جدول ۹).

جدول ۹- تفاوت میان گروه‌های مختلف درآمد سالانه در مشارکت آبخیزنشینان.

Table 9 - Differences between different annual income classes in watershed participation.

Sig	Khi two	Average participation of watershed residents	Status	Variable
0.001	25.36	11.30	< 6	Annual income
		14	6-8	
		30	8-10	
		44.33	> 10	

رفتار آبخیزنشینان مربوط به گروه‌های مختلف نشان داد که بیشترین اندازه مشارکت مربوط به گروه بیشتر از ۶ نفر و کمترین اندازه مشارکت مربوط به گروه با بعد خانوار ۱ تا ۲ نفر بود (جدول ۱۰).

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که، تفاوت میان گروه‌های تعریف‌شده بعد خانوار با مشارکت آبخیزنشینان در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از میانگین مشارکت و

جدول ۱۰- تفاوت میان گروه‌های مختلف بعد خانوار در مشارکت آبخیزنشینان.

Table 10 - Differences between different household size groups in watershed participation.

Sig	Khi two	Average participation and behavior of watershed residents	Status	Variable
0.002	14.85	11.88	1-2	Household size (number of family members)
		27.54	3-4	
		28.05	5-6	
		44.8	> 6	

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اهمیت آبخیزداری به‌عنوان رویکردی جامع‌نگرانه در مدیریت پایدار منابع آب و خاک در آبخیزها است (لو و همکاران ۲۰۲۵). در ایران یکی از راه‌های دستیابی به پایداری و بهره‌برداری اصولی جامعه از آبخیزها توجه به ویژگی‌های جمعیت‌شناختی است. عامل‌های جمعیتی شاکله اصلی رفتار جامعه در قبال منابع آب و خاک را تشکیل می‌دهند و رفتار افراد در آبخیز نیز ضامن سلامت آبخیز خواهد بود. در غیر این شرایط بهره‌برداری غیراصولی از منابع موجود رخ خواهد داد (نور و همکاران ۲۰۲۲). عامل‌های جمعیتی از جمله سن، سابقه آبخیزداری، درآمد از طرح‌های آبخیزداری، سطح تحصیلات، بعد خانوار و فاصله آبخیز تا محل زندگی آبخیزنشینان و جنسیت با تأثیرگذاری بر مشارکت نقش مهمی در پیشبرد اهداف طرح‌های آبخیزداری دارند (جیهونی و همکاران ۲۰۲۳؛ هانسن و همکاران ۲۰۲۵).

یکی از مهم‌ترین اهداف سیاست‌های مدیریت جامع در آبخیزهای کشور، مشارکت جامعه‌های محلی است (بهمل و همکاران ۲۰۱۸). نتایج به‌دست‌آمده از آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت مشارکت در ۱۲ روستای پژوهش‌شده معنی‌دار بود. بیشترین میانگین مشارکت مربوط به روستاهای بابا عزیز و کمترین اندازه مشارکت مربوط به روستاهای گل‌سفید بود. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که تفاوت در

نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های پژوهشگران مختلف در ارتباط با معیارهای بررسی‌شده در این پژوهش هم‌خوانی دارد. در این راستا، نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های بقایی و همکاران (۲۰۰۸) در آبخیز زرچشمه هونجان مبنی بر اینکه متغیرهای فردی و اجتماعی و از همه مهم‌تر متغیر سن بر مشارکت جامعه‌های محلی در اجرای طرح‌های آبخیزداری مؤثر است، هم‌خوانی دارد. در پژوهشی جیهونی (۲۰۲۲) گزارش کرد فاصله از محل زندگی از ویژگی‌های جمعیتی است و بر مشارکت افراد اثرگذار است و سابقه فعالیت با مشارکت جامعه در طرح‌ها نیز مرتبط می‌باشد، که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد. بالتا و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که سطح تحصیلات نقش مهمی در مشارکت جامعه در طرح‌های حفاظتی دارد، که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. نتایج این پژوهش با یافته‌های رابت و همکاران (۲۰۲۳) مبنی بر اینکه عامل درآمد تأثیر زیادی بر اندازه مشارکت جامعه در اجرای طرح‌های آبخیزداری دارد، هماهنگی دارد. علی‌بیگی و بنی‌عامریان (۲۰۰۹) و هانسن و همکاران (۲۰۲۵) دریافتند که جنسیت پیش‌بینی‌کننده مؤثری برای مشارکت افراد در طرح‌های مدیریتی منابع طبیعی نیست، که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد. گالاتی و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند رابطه بعد خانوار با مشارکت شهروندان در مدیریت منابع طبیعی معنادار است، که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد.

ویژگی های جمعیتی مناطق مختلف در آبخیز بنچله باعث اختلاف در اندازه سطوح مشارکتی آنها شده است. از این رو، بررسی عامل های مختلف جمعیتی در ارزیابی سطح مشارکت آبخیزنشینان ضروری است.

رابطه متغیر سن با مشارکت آبخیزنشینان در طرح های آبخیزداری مثبت و معنادار بود. به نظر می رسد که با افزایش سن افراد، آگاهی و درک آنها از وضعیت منابع آب و خاک افزایش یافته و تمایل بیشتری به مشارکت خواهند داشت. در میان گروه های مختلف سنی هم نتایج بیانگر آن بود که با افزایش سن، مشارکت افزایش یافت. از این رو، با کمک درک و دانش افراد مسن تر و برگزاری گروه های آموزشی-ترویجی برای گروه میان سال و کمتر می توان درک جامعه نسبت به مقوله مشارکت را افزایش داد. این موضوع مشارکت اجتماع محور را در حفاظت از منابع پایه تقویت می کند. نتایج به دست آمده از آزمون کروسکال والیس بیانگر آن بود که تفاوت میان فاصله آبخیز از محل زندگی آبخیزنشینان با مشارکت آبخیزنشینان منفی و معنی دار بود. نتایج به دست آمده از گروه های فاصله از آبخیز نشان داد که با افزایش فاصله محل انجام طرح تا محل زندگی، مشارکت کاهش یافت. به نظر می رسد که مسیر دسترسی افراد و فاصله آن تا محل طرح عامل مهمی در اندازه مشارکت آبخیزنشینان است. از این رو، پیشنهاد می شود تا به منظور افزایش مشارکت جامعه در طرح های آبخیزداری، جامعه محلی با فاصله کمتر از محل طرح به کار گرفته شوند.

رابطه سابقه آبخیزداری آبخیزنشینان با مشارکت جامعه در طرح های حفاظت از آب و خاک معنادار و مثبت بود. با بررسی گروه های سابقه آبخیزداری مشخص شد که با افزایش سابقه، مشارکت آبخیزنشینان افزایش یافت. به نظر می رسد که دلیل این موضوع افزایش درک از ارزش منابع آب و خاک بود. این درک ناشی از سابقه و تجارب جامعه آبخیزنشین در آبخیز بود و به خوبی سبب افزایش درک اهمیت حفظ منابع در آنها شد. به بیان دیگر با افزایش سابقه فعالیت، رفتار افراد به شیوه ای مطلوب تغییر

می یابد (هانسن و همکاران ۲۰۲۵). از این رو، پیشنهاد می شود تا تجارب و ادراک افراد در قالب آموزش در اختیار افراد با سابقه بیشتر قرار بگیرد تا مشارکت در طرح های حفاظت از آب و خاک در آبخیز بنچله افزایش یابد.

نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت میان گروه های مختلف تحصیلات با مشارکت آبخیزنشینان در طرح های حفاظت از آب و خاک معنی دار بود. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین مشارکت مربوط به گروه بی سواد بود. به نظر می رسد که افراد با سطح سواد کمتر به دلیل وابستگی معیشتی بیشتر به آبخیزها تمایل بیشتری نیز به مشارکت در اجرای طرح های حفاظتی دارند.

نتایج مربوط به متغیر درآمد نشان داد که تفاوت میان گروه های گروه بندی شده درآمد سالانه با مشارکت آبخیزنشینان در طرح های حفاظت از آب و خاک معنی دار بود. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین اندازه مشارکت مربوط به گروه با درآمد سالانه بیشتر از ۱۰ میلیون تومان و کمترین اندازه مشارکت مربوط به گروه با درآمد سالانه کمتر از ۶ میلیون تومان بود. این نتایج بیانگر آن بود که با بهبود وضعیت معیشتی و افزایش سطح رفاه جامعه، تمایل به مشارکت نیز افزایش یافت. از این رو، در آبخیز بنچله پیشنهاد می شود که منابع درآمدی متنوعی برای جامعه های هدف فراهم شود تا افزون بر بهره برداری اصولی از منابع آبخیز، وضعیت معیشتی آنها نیز بهبود یابد.

رابطه بعد خانوار به عنوان یکی دیگر از مشخصه های جمعیتی با مشارکت افراد، مثبت و معنادار بود. به طوری که بیشترین اندازه مشارکت مربوط به گروه بالاتر از ۶ نفر و کمترین اندازه مشارکت مربوط به گروه با بعد خانوار ۱ تا ۲ نفر بود. به نظر می رسد که با افزایش تعداد افراد خانواده، نیاز به منابع در آبخیز بنچله نیز افزایش یافت. به این دلیل با افزایش بعد خانوار و به منظور بهبود وضعیت معیشتی خانوار، تمایل به مشارکت در طرح های حفاظت از منابع آب و خاک و بهره مندی از مزایای آن نیز افزایش یافت. هم چنین به نظر می رسد هرچه هنجارها و باورهای

آبخیزنشینان در زمینه حفاظت و حراست از منابع طبیعی آبخیز تقویت شود، رفتار مشارکتی مناسب-تری را از خود بروز می‌دهند. این ارتقای آگاهی و تغییر در نگرش می‌تواند به مشارکت فعال‌تری منجر شود و رفتارهای مسئولانه‌تر جامعه‌های محلی با سیاست‌های حفاظتی-حمایتی، گامی اساسی برای حفظ و مدیریت پایدار است (فتحی و همکاران ۲۰۲۵). تنها عاملی که با اندازه مشارکت آبخیزنشینان رابطه معنادار نداشت، جنسیت بود. به نظر می‌رسد که تمایل به مشارکت زنان و مردان در یک سطح بوده و زنان نیز همانند مردان به حفاظت از منابع آب و خاک اهمیت می‌دهند.^۱

این یافته به دلیل توانمندسازی زنان جامعه و ایفای نقش آن‌ها در آبخیز بود. به‌طوری‌که زنان نقش مشارکتی خود را بیشتر در زمینه‌های مراقبت آبخیزنشینان از طرح‌ها پس از اتمام آن، همکاری آبخیزنشینان با کارشناسان در مرحله برنامه‌ریزی طرح‌ها و تمایل و نیت مثبت آبخیزنشینان نسبت به حفاظت آب و خاک نشان دادند.

نتایج این پژوهش نشان داد که عامل‌های جمعیتی از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر مشارکت بودند. به‌جز عامل جنسیت، عملکرد عامل‌های گوناگون جمعیتی از جمله سن، سابقه آبخیزداری، درآمد سالانه، سطح تحصیلات، بُعد خانوار و فاصله آبخیزنشینان از آبخیز در راستای مشارکت، متفاوت بود. این عملکرد بیشتر وابسته درک منابع آب و خاک و وضعیت معیشتی جامعه‌های محلی است. از این‌رو، جدا از شرایط اقتصادی و اجتماعی باید برای همه اقشار در همه سطوح جامعه در آبخیز بنچله در استان کرمانشاه، برنامه‌های آموزشی تعریف شود تا هر فرد در هر سطوح بتواند نقش مؤثری در حفاظت از منابع آب و خاک ایفا کند. در آبخیز بنچله پیشنهاد می‌شود منابع درآمدی متنوعی فراهم شود. زیرا، افزایش سطح معیشتی جامعه آبخیزنشین می‌تواند دیدگاه آن‌ها را نسبت به کارکردهای آبخیز و منابع موجود در آبخیز بهبود بخشد. شایان ذکر است که افزون بر متغیرهای بررسی‌شده در پژوهش باید در نظر داشت که آگاهی از

موانع مشارکت مردمی (PPB)^۱ در اجرای مشارکتی طرح‌های حفاظت خاک (SCP)^۲ مقدمه‌ای برای ارتقای سطح مشارکت مردمی با برنامه‌ریزی‌های مرتبط است. نادیده گرفتن درآمد مردم و تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در سازمان دولتی به‌عنوان مهم‌ترین PPPها در SCPها رتبه‌بندی شده‌اند.

بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده تسلط فرآیند بالا به پایین و فقدان انگیزه‌ها و منافع اقتصادی، مهم‌ترین PPPها هستند. از این‌رو، به مدیران منابع طبیعی در فرآیند برنامه‌ریزی برای ارتقای مشارکت مردم در SCPها پیشنهاد می‌شود رویکرد را از مدیریت غیرمشارکتی آبخیز به فرآیند مشارکتی و همگرایی دیدگاه‌های مختلف با تصمیم‌گیری گروهی تغییر دهند. همچنین، به‌منظور بهبود اندازه مشارکت و ارتقای اثربخشی طرح‌های حفاظت از آب و خاک، پیشنهاد می‌شود به‌دلیل رابطه مثبت میان سن و مشارکت، برنامه‌های آموزشی برای گروه‌های سنی مختلف افزایش یابد. این آموزش‌ها می‌تواند شامل کارگاه‌های آموزشی و فعالیت‌های میدانی باشد تا آگاهی افراد را نسبت به اهمیت طرح‌های آبخیزداری افزایش دهد.

همچنین، پیشنهاد حمایت مالی از خانوارهای کم‌درآمد می‌تواند به افزایش مشارکت در این گروه‌ها کمک کند. طراحی برنامه‌های حمایتی مانند تسهیلات مالی، کمک‌های فنی و تجهیزاتی برای این خانوارها می‌تواند نقش مهمی در تشویق آن‌ها به مشارکت ایفا کند. در این راستا، پیشنهاد می‌شود خانوارهای پرجمعیت به مشارکت بیشتر، تشویق شوند. می‌توان برنامه‌ها و انگیزه‌هایی برای افزایش مشارکت در این گروه‌ها فراهم آورد. از جمله ارائه پاداش‌ها یا تسهیلات ویژه برای خانوارهای بزرگ‌تر در طرح‌های حفاظتی. همچنین، با توجه به تجربیات افرادی که سابقه بیشتری در آبخیزداری دارند، می‌توان از این افراد به‌عنوان مشاوران محلی یا مربیان استفاده کرد تا کیفیت طرح‌ها افزایش یابد و دیگر افراد را ترغیب به

1- People's Participation Barriers

2- Soil Conservation Projects

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. همچنین داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش، با مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار مخاطب قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، جمع‌آوری اطلاعات، نگارش نسخه اولیه مقاله

نویسنده دوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج

نویسنده سوم: مفهوم‌سازی، مشاوره

مشارکت کنند. سرانجام، فراهم آوردن انگیزه‌های مالی و اجتماعی برای مشارکت بیش‌تر می‌تواند مؤثر باشد. بسته‌های حمایتی مالی یا جوایز برای مشارکت‌کنندگان می‌تواند انگیزه‌های قوی‌تری برای مشارکت در طرح‌های حفاظتی فراهم آورد و باعث جذب بیش‌تر افراد در این طرح‌ها شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منفعی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

فهرست منابع

Ahmadi F, Heydari Q, Zamani A, Jafarian Z. 2021. Analysis of network social capital among rangeland users with different levels of participation (Case study: Rangelands of Dehgolan County, Kurdistan Province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 28(4): 804-817. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijdr.2021.125644>

Alibeigi A, and Bani-Amariyan L. 2009. Demographic factors affecting the participation of rural women in extension programs: A case study of Sonqor and Kalayai Counties. *Social-Psychological Studies of Women (Women's Studies)*. (20th issue). 7(2): 115-133. (In Persian). <https://doi.org/10.22051/jwsps.2009.1346>

Assefa, S., Kessler, A., & Fleskens, L. (2024) Factors affecting farmers' decision to participate in Campaign-Based Watershed Management program in Boset District, Ethiopia. *Land Use Policy*. 137, 106995. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106995>

Baghaei M, Chizari M, Peskezh-Rad G, Fali S. 2008. Individual and social factors affecting the participation of villagers in the Zarchshme-Hunjan watershed in watershed management projects. *Iranian Agricultural Extension and Education Sciences*. 4(1): 73-87. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/109331/fa>

Balta D, Marisennayya S, Marisennayya P M, Awuchi CG. 2022. Farmers' participation in watershed management in Sodo Zuria District of Southern Ethiopia. *Turkish Journal of*

Agricultural Engineering Research. 3(1):51-63. <https://doi.org/10.46592/turkager.792744>

Behmel S, Damour M, Ludwig R, Rodriguez MJ. 2018. Participative approach to elicit water quality monitoring needs from stakeholder groups—An application of integrated watershed management. *Journal of environmental management*. 218: 540-554. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.076>

Chowdhury MSH, Gudmundsson C, Izumiyama S, Koike M, Nazia N, Rana M P, Redowan M. 2014. Community attitudes toward forest conservation programs through collaborative protected area management in Bangladesh. *Environment, development and sustainability*. 16 (6): 1235-1252. <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9524-y>

Clements T, Rainey H, An D, Rours V, Tan S, Thong S, Sutherland WJ, Milner-Gulland EJ. 2013. An evaluation of the effectiveness of a direct payment for biodiversity conservation: The Bird Nest Protection Program in the Northern Plains of Cambodia. *Biological Conservation*. 157, pp. 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.020>

Darghouth, S, Ward C, Gambarelli G, Styger E, Roux J. 2008. May Watershed management approaches, policies, and operations: Lessons for scaling up. [Water sector board discussion paper 11]. Washington, DC: The World Bank. <http://admin.indiaenvironmentportal.org.in/files/watershed.pdf>

Fathi E, Mosaffaie J, Ekhtesasi M, Talebi A. 2025. Factors Affecting the Participation of Local Communities in Water Resource

- Conservation (Case Study: Ilam Dam Watershed). *Geography and Environmental Sustainability*. 15(2): 107-124. (In Persian).
- Galati A, Coticchio A, Peiró-Signes Á. 2023. Identifying the factors affecting citizens' willingness to participate in urban forest governance: Evidence from the municipality of Palermo, Italy. *Forest Policy and Economics*. 155, 103054. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103054>
- Hansen P, Tiebel M, Plieninger T, Mölder A. 2025. Does gender really matter? How demographics and site characteristics influence behavior and attitudes of German small-scale private forest owners. *Forest Policy and Economics*. 173, 103427. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2025.103427>
- Hiedanpää J, Borgström S. 2014. Why do some institutional arrangements succeed? Voluntary protection of forest biodiversity in Southwestern Finland and of the Golden Eagle in Finnish Lapland. *Nature Conservation*. 7: 29. <http://dx.doi.org/10.3897/natureconservation.7.6497>
- Jam AS, Mosaffaie J. 2023 introducing the concept of a ladder of watershed management: A stimulus to promote watershed management approaches. *Environmental Science and Policy*. 147: 315-325. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.07.001>
- Jam AS, Tabatabaei MR, Mosaffaie J, Soltani MJ, Shadmani A. 2022. Barriers to participatory implementation of soil conservation projects: Perspectives and priorities. *Environmental Science and Policy*. 131: 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.016>
- Jihouni Naeini, H, Najafinejad A, Saadeddin A, Omidvar A. 2022. Determining the factors affecting the participation of watershed residents in watershed management plans and analyzing their relationship (Case study: Naein River Basin, Isfahan Province). *Comprehensive Watershed Management*. 2(2): 16-30. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iwm.2022.553808.1032>
- Johnson N, Ravnborg H, Westermann O, Probst K. 2002. User participation in watershed management and research. *Water Policy*. 3(6): 507-520. [https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00014-4](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00014-4)
- Karimi K, Karami-Dehkordi A, Badsar M. 2016. The role of rural communities in protecting rangelands in Mahneshan County, *Rural Development Strategies*. 3(1): 21-1. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832657.1395.3.1.1.0>
- Lu X, Chen J, Guo J, Wu H, Zuo Q, Chen Y, Qi S. (2025). Evaluating comprehensive watershed management sustainability based on the energy ecological footprint model: A case study of Hainan Island, China. *Ecological Modelling*. 505: 111120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111120>
- Ma Z, Butler BJ, Kittredge DB, Catanzaro P. 2012. Factors associated with landowner involvement in forest conservation programs in the U.S.: implications for policy design and outreach. *Land Use Policy*. 29: 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.05.004>
- Mohammadi Ostadkalayeh A, Tahmasebi A, Kashani M, Keshavarz Ghorabae M. 2024. Evaluation of natural resource management using good governance indexes. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 31(1): 93-106. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2024.131465>
- Mosaffaie J, Salehpour Jam A. 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). <https://dx.doi.org/10.52547/jwmr.11.22.121>
- Mosaffaie J, Salehpour Jam A. 2021. Prioritization of factors preventing participation of rural people in soil and water conservation projects (The case of Vers watershed). *Journal of Agricultural Science and Technology*. 23(5): 975-986. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2021.23.5.7.8>
- Mosaffaie J, Sarfaraz F, Salehpour Jam A, Tabatabaei Mahmoud Reza. 2022. Analysis of obstacles to public participation in watershed management plans in the Ninehroud Basin of Qazvin Province. *Journal of Watershed Management*. 13(26): 82-92. (In Persian). <https://doi.isc.ac/dor/20.1001.1.22516174.1401.13.26.7.5>
- Noor H, Salehpour Jam A, Rajaei SH. 2022. Comparison of factors affecting non-participation in watershed management projects from the perspectives of experts and local communities. *Watershed Engineering and Management*. 14(3): 400-411. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.127630.1713>
- Ohta R, Ryu Y, Otani J. 2020. Rural physicians' perceptions about the challenges of participating in interprofessional collaboration: insights from a focus group study. *Journal of*

Interprofessional Education and Practice. 20, 100345.

<https://doi.org/10.1016/j.xjep.2020.100345>

Qoobakhlo, P., Kianian Golafshani, M. K., Salehpour Jam A, Nikoo S. 2024. Investigating factors affecting the non-sustainable participation of rural communities in desertification projects (Case study: Garmsar City). Integrated Watershed Management.

4(3): 1-13. (In Persian).

<https://doi.org/10.22034/iwm.2024.2018909.1121>

Rabat A, Rostamizad Q. Salehpour Jam A. 2023. Investigating the barriers to local community participation in the implementation process of watershed and natural resources projects, Arpachai watershed, and Zanjan province. Watershed Engineering and Management, 15(4): 622-638. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.359776.1988>

Rastegar S, Riahi N, Tatian M, Ghorbanpour Delivand, M. 2023. Cost-benefit analysis of various methods of exploitation of local communities in summer rangelands of Hezar-Jerib, Behshahr. Iranian Journal of Range and Desert Research. 30(3): 362-380. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2023.130617>

Stolle D, Soroka S, Johnston R. 2008. When does diversity erode trust? Neighborhood

diversity, interpersonal trust and the mediating effect of social interactions. Political studies. 56 (1): 57-75. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9248.2007.00717>

Tarafdar S, Deb P, Pandey D. 2024. Recent land use land cover changes, demographic transition, and rainfall trends in middle Himalayan watershed. In Modern Cartography Series. Academic Press. 12: pp. 3-23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23890-1.00001-3>

Vainio A, Paloniemi R, Hujala T. 2018. How are forest owners' objectives and social networks related to successful conservation? Journal of Rural Studies. 62: 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.06.009>

Varua, MEB, Maheshwari J, Ward and S, Dave. 2017. Groundwater conservation attitudes, behavior and water management: the case of farmers in rural India. Transactions on Ecology and the Environment. 220: 141-150. <https://doi.org/10.2495/wrm170141>

Vejdani HR, Rostami Sh, Taleshi M, Ali Akbari A, Jomepour M. 2019. Investigating rangeland protection strategies with a participatory approach and a combined SWOT and AHP method (Case study: Hamadan Province). Iranian Rangeland and Desert Journal. 26 (4): 808-800. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.120673>



Analysis of Participation groups in the Context of Demographic Characteristics of the Benchele Watershed of Kermanshah Province

Adel Soltani ^{1*}, Reza Ghazavi ², Siamak Dokhani ³

1- Instructor, Department of Agricultural Technology and Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Watershed Management Faculty of Natural Resources and Earth Science University of Kashan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Watershed Management Faculty of Natural Resources and Earth Science University of Kashan, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Sustainable governance of natural resources is a set of local institutional social actions and reactions of all watersheds beneficiaries. This approach, by providing an appropriate environment for presenting participatory process models, is considered a suitable platform for strengthening the target community alongside the government and the private sector. Given the complexity of issues related to natural resources, management them is not an absolute respond to existing problems; for this reason, numerous approaches have been presented in this field in recent years, among the most important approaches is the important role of local community participation alongside sustainable governance. Because, by examining the role of participation available to rangers and the relationship between them, the necessary basis is provided for determining an efficient policy to improve the level of voluntary participation of rangers. The sustainability of watershed management programs depends on the active participation of watersheds in planning and implementation activities. Therefore, it is important to examine the demographic characteristics of each watershed as one of the factors affecting watershed participation. Therefore, this study aimed to investigate demographic factors as one of the factors affecting watershed residents' participation in the Benchele watershed of Kermanshah, which indicates the difference in rangeland management goals among beneficiaries. In addition, the extent of rangeland owners' participation in achieving specific rangeland management goals was also examined.

Materials and Methods

The research was applied from the perspective of purpose, descriptive-survey research from the perspective of research method, and quantitative research from the perspective of the nature of the data. The target population included the customary users of the Benchele watershed. The statistical population in this study was 569 household heads.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** soltani@pnu.ac.ir

Citation: Soltani, A., Ghazavi, R., Dokhani, S. 2026. Analysis of Participation groups in the Context of Demographic Characteristics of the Benchele Watershed of Kermanshah Province. Watershed Management Research. 38(4): 53-71.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.369261.1620

Received: 28 April 2025, **Received in revised form:** 13 May 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol.38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp. 53-71.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



The sample size of this study was determined using the Cochran formula as 229 heads consisting of men and women. Random sampling was used to select the samples. The tool used in this method to collect data and information was a questionnaire. The validity of the questionnaire was confirmed by experts and its reliability was confirmed by Cronbach alpha coefficient (alpha greater than 0.7). Data analysis was performed using SPSS version 26 software. The participatory items in this study were determined with the goals of controlling runoff and controlling floods, preventing soil erosion, and directing water to the surface of groundwater tables in the Benchele watershed. The questions focused on demographic variables that affect the variable of watershed participation. In the analysis of the collected information, the descriptive statistics of the mean and the inferential statistics of Pearson, Spearman and Chi-square were used. In the analysis of the collected information, the descriptive statistics of the mean and the inferential statistics of Pearson, Spearman and Chi-square were used. In order to examine the relationship between the variables of age, income, watershed management history, household size, distance of the watershed from the place of residence and education, the Pearson statistic was used, and to examine the relationship between the variable of gender and the level of participation, the Spearman test was used. Also, the Chi-square statistic was used to examine the relationship between different levels of variables based on their contribution size.

Results and Discussion

The results obtained from the Pearson correlation test showed that there was a positive and significant relationship between the variables of age, income, and distance from the watershed to the place of residence, watershed management experience, and household size with the participation of watershed residents. The results obtained from the Spearman correlation test showed that the relationship between gender and individual participation in the Benchele watershed was not significant. The results obtained from the Kruskal-Wallis test also showed that, except for the gender variable, the relationship other variables such as age, annual income, watershed management experience, education level, distance from the watershed to the place of residence, and household size was significant with participation. The results obtained from the Kruskal-Wallis test showed that the difference in participation among the 12 villages studied was significant. The highest average participation was in the villages of Baba Aziz (11.51) and the lowest participation was in the villages of Gel Sefid (9.23). Based on the results of this study, it will be necessary to examine various demographic factors in assessing the level of participation of watershed residents. The results indicated that people with lower literacy levels were more likely to participate in implementing conservation projects due to their greater dependence on watersheds for their livelihoods. As household size increases and household livelihoods improve, the willingness to participate in water and soil resource protection projects and benefit from their benefits will also increase. Based on the results of this study, gender was not identified as an effective predictor of individuals' participation in natural resource management plans.

Conclusion and Suggestions

The importance of watershed management as a holistic approach to the sustainable management of water and soil resources in the field of watershed management. Among these, demographic factors are considered to be among the most important factors affecting participation. In Iran, one of the ways to achieve sustainability and principled exploitation of watersheds by society is to examine demographic characteristics. Demographic factors form the main structure of society's behavior towards water and soil resources. On the other hand, the behavior of individuals in the watershed will also guarantee the health of the watershed. Apart from gender, the effect of various demographic factors, including age, watershed management experience, annual income, education level, household size, and distance of watershed residents from the watershed, on participation varied. This difference was largely due to the understanding of water and soil resources and the livelihood status of local communities. Therefore, this study aimed to investigate demographic factors as one of the factors affecting watershed residents' participation in the Benchale watershed of Kermanshah, which showed the difference in rangeland management goals among beneficiaries. In addition, the extent of rangeland owners'

participation in achieving specific rangeland management goals was also investigated. Therefore, it is suggested that educational programs should be defined for all segments of the Benchale watershed of Kermanshah province, regardless of economic and social conditions. Therefore, it is suggested that diverse sources of income be provided to target communities and that efficient education and financial support packages be provided to different groups of watershed residents in order to actively participate in water and soil resource protection programs.

Keywords: Benchele watershed, demographics, exploitation of water and soil resources, participation, questionnaire

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Kashan for the financial and logistical supports who significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

There are no conflicts of interest in relation to the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author. /OR/ we have no permission to release data and codes.

Authors' Contribution

Author 1: Writing, original draft preparation, Resources, Software, Manuscript editing

Author 2: Visualization, Supervision

Author 3: Conceptualization, methodology



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مراکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری آبخیز سد سنا، استان بوشهر

علی جعفری^{۱*}، پرویز بیات^۲

۱ و ۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

عامل‌های پرشماری باعث نبود مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری می‌شوند. آگاهی از عامل‌های بازدارنده مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری، اصولی‌ترین گام در تحقق مشارکت مؤثر مردمی و دستیابی به اهداف مدیریت جامع آبخیز است. در این راستا، اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی، گامی اصولی در چرخه مدیریت مردم نهاد آبخیزداری و مدیریت شایسته آبخیزها است. شناخت و اولویت‌بندی عامل‌ها راهگشای اتخاذ تدابیری در راستای حذف موانع مشارکتی سودبران و مشارکت حداکثری ساکنان آبخیز است. این برنامه‌ریزی‌های مدیریت جامع و کارآمد آبخیز در سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری و ادارات کل منابع طبیعی و آبخیزداری وابسته به آن در استان‌های مختلف کشور اجرا می‌شود. این نکته همزمان با کاهش هزینه‌های اجرایی، ضامن موفقیت و اجرای مؤثرتر طرح‌ها نیز هست. این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری در آبخیز سد سنا استان بوشهر بر اساس دیدگاه آبخیزنشینان و کارشناسان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهشی آبخیز سد سنا، جزء بخش شنبه و طسوج شهرستان دشتی در استان بوشهر در جنوب کشور بود. در این آبخیز پس از تعیین و طبقه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری از دیدگاه ساکنان آبخیز، از پرسش‌نامه‌های مقایسه‌های زوجی و طیف لیکرت به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری استفاده شد و روایی پرسش‌نامه‌ها مبتنی بر دیدگاه خبرگان تأیید شد. بر پایه تعداد خانوار موجود در این دهستان (۱۳۲۱ خانوار)، از سرپرست خانوار، تعداد ۲۹۸ پرسش‌نامه تکمیل شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: a_j472000@yahoo.com

استناد: جعفری، ع، بیات، پ. ۱۴۰۴. شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری آبخیز سد سنا، استان بوشهر. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۴): ۷۲-۸۷.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.369843.1625

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۷۲ تا ۸۷.

© نویسندگان

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



پس از تکمیل پرسش نامه های تحلیل سلسله مراتبی به وسیله ۳۴ کارشناس خبره، شاخص ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی اولویت بندی شدند. واحد نمونه، خانوار روستایی تعیین شد و برای محاسبه حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل سلسله مراتبی از دیدگاه خبرگان نشان داد بیشترین اولویت نسبی در نبود مشارکت مردم در طرح های آبخیزداری در آبخیز سد سنا مربوط به زیرشاخص آموزش ندیدن ساکنان آبخیز در زمینه طرح ها و اهداف آن (میانگین رتبه ۸/۴۹) و کمترین اولویت نسبی مربوط به زیرشاخص دیربازده بودن طرح های آبخیزداری (میانگین رتبه ۴/۰۶) بود. از دیدگاه جامعه های محلی بیشترین اولویت نسبی در نبود مشارکت مردم در طرح های آبخیزداری در این آبخیز مربوط به زیرشاخص استفاده نکردن از گروه های مروج بومی (میانگین رتبه ۸/۸۲) و کمترین اولویت نسبی مربوط به زیرشاخص کم بودن سطح سواد و آگاهی (میانگین رتبه ۴/۲۷) بود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

در آبخیز سد سنا استان بوشهر، نتایج امتیازهای به دست آمده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای رتبه بندی شاخص های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه کارشناسان خبره، بیانگر آن بود که بیشترین نقش در شکل گیری نشدن مشارکت جامعه های محلی در طرح های آبخیزداری به ترتیب مربوط به شاخص های طراحی- اجرا، اقتصادی، اجتماعی و آموزشی و ترویجی، بود. نتایج به دست آمده از آزمون فریدمن برای رتبه بندی شاخص های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه جامعه های محلی با نتایج رتبه بندی از دیدگاه کارشناسان خبره تا حدودی متفاوت بود. از دیدگاه جامعه های محلی بیشترین نقش در شکل گیری نشدن مشارکت این جامعه ها در طرح های آبخیزداری استان بوشهر در آبخیز سد سنا به ترتیب مربوط به شاخص های اقتصادی، آموزشی و ترویجی، اجتماعی و طراحی- اجرا بود. بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می شود برگزاری دوره ها و کلاس های آموزشی با هدف افزایش اطلاعات و دانش جامعه های محلی در ارتباط با طرح های آبخیزداری، در اولویت باشد. همچنین، پیشنهاد می شود معتمدترین افراد محلی (ریش سفیدان و بزرگان، افراد تحصیل کرده، اعضای شورای اسلامی و معلمان روستاها)، به عنوان مروج بومی برای اهالی منطقه در کنار سازمان های مردم نهاد (سمن ها) به کار گرفته شوند تا با ترویج اهداف طرح ها، زمینه جلب مشارکت مردم در طرح های مزبور را فراهم آورند. افزون بر این، برای فراهم آوردن شرایط مشارکت فعال آبخیزنشینان در مراحل مختلف تصمیم گیری، طراحی- اجرا و نگهداری و ترمیم طرح های آبخیزداری، تدوین شرح خدمات نوین مدیریت جامع های آبخیز بر اساس مشارکت جامعه های محلی و دیگر سودبران، پیشنهاد می شود. همچنین، برای به کارگیری نیروی محلی و افراد روستا در اجرای طرح ها و ایجاد نوعی اشتغال برای آن ها، عقد قراردادهای پیمانکاری با شورا یا اهالی روستا و یا اصلاح قراردادهای پیمانکاران و تنظیم و گنجاندن بند به کارگیری از اهالی منطقه در اجرای طرح ها، پیشنهاد می شود.

واژگان کلیدی

آبخیز سد سنا، آزمون های فریدمن، تحلیل سلسله مراتبی فازی، رتبه بندی، مدیریت آبخیز، مشارکت آبخیزنشینان

مقدمه

هزینه ها و به طور کلی موفقیت بیش تر طرح شود. در بسیاری از این طرح ها، مقاومت جامعه محلی و یا نبود مشارکت آن ها در طرح های اجرایی، سبب کاهش کارایی این طرح ها شده است (اسلامی و همکاران

مشارکت سودبران در مراحل مختلف پژوهش، اجرا پایش و ارزیابی، و مرمت و نگهداشت از طرح آبخیزداری می تواند سبب اجرای مؤثرتر، کاهش

۲۰۲۲). در این راستا، به آب‌بخیزداری به‌عنوان روشی جامع و مناسب در مدیریت پایدار منابع طبیعی در آب‌بخیز بیش‌تر توجه شده است (نور و همکاران ۲۰۱۶). نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که اجرای طرح‌های آب‌بخیزداری بدون مشارکت و همراهی پایدار مردم به‌عنوان سرمایه‌های اجتماعی موفق نبوده و از این‌رو، رهیافت مشارکتی در اجرای طرح‌های آب‌بخیزداری به‌عنوان یک راهکار پایدار از دهه ۷۰ برای توسعه فعالیت‌های آب‌بخیزداری مد نظر بوده است (نور و همکاران ۲۰۲۱). موضوع مشارکت مردمی در کنفرانس ریودوژانیرو برزیل در سال ۱۹۹۲ تأکید شد و در بند ۲۴ فصل ۲۳ این کنفرانس یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار، مشارکت مردم در فرایند تصمیم‌گیری برای برنامه‌های محیط و توسعه معرفی شد (باقریان و همکاران ۱۳۹۶). با این حال، توجه نداشتن به مشارکت جامعه‌های محلی در اجرای بسیاری از طرح‌های منابع طبیعی و آب‌بخیزداری کشور سبب انزوای سودبران و حافظان اصلی منابع طبیعی و برخوردار نبودن از توانایی فکری، اجرایی و دانش بومی آن‌ها در مراحل مختلف پژوهش و اجرایی طرح شده است (مصفايي و صالح پورجم ۲۰۲۱). افزون بر این، این موضوع سبب کاهش انگیزه آتی جامعه‌های روستایی در مراحل پس از اجرای طرح (حفاظت از طرح) شده است. تجربه کشورهای پرشماری بیانگر آن است که فعالیت دولت‌ها به‌تنهایی کارآمدی لازم را ندارد و از این‌رو، تدوین یک برنامه راهبردی فراگیر و نظام‌مند ضروری است (محمدی‌گلرنگ و همکاران ۲۰۱۶). نتایج این پژوهش در بسیاری از کشورها مبین تأثیر عامل‌های زیادی در تعیین سطح مشارکت مردم بوده است. بعضی از پژوهشگران بر تأثیر ویژگی‌های فردی بر اندازه مشارکت افراد (اتمیست و همکاران ۲۰۰۷) و برخی بر نقش سطح اطلاعات و آگاهی و اثرگذاری آن در مشارکت تأکید داشته‌اند (حیدری و رایت ۲۰۰۱). این پژوهشگران دریافتند که بیشتر بودن سطح اطلاعات و آگاهی فرد از اهداف طرح، باعث افزایش مشارکت آن‌ها در طرح‌ها شد. از سوی دیگر، برخی از

پژوهشگران پیرو نظریه مبادله اجتماعی گزارش کردند که رابطه مشارکت مانند رابطه تبادل کالا میان دو نفر است (باقریان و همکاران ۲۰۱۵). به بیان دیگر، انتظار فرد مشارکت‌کننده در ازای مشارکت در یک طرح، برآورد نیازها و دریافت حقوق است. می‌توان گفت نگرش و سابقه ذهنی نیز از عامل‌های مؤثر در مشارکت افراد در طرح‌ها است (باقریان و همکاران ۲۰۰۹). در این راستا، شناسایی عامل‌های بازدارنده مشارکت مردمی در طرح‌های آب‌بخیزداری و تعیین امتیاز و اهمیت آن‌ها در یک سامانه آب‌بخیز، اولین گام در تحقق مشارکت مؤثر مردمی و دستیابی به اهداف مدیریت یکپارچه آب‌بخیز است (صالح پورجم و همکاران ۲۰۲۰). همت‌زاده و خلیقی (۲۰۰۶) عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آب‌بخیزداری در آب‌بخیز معرف کچیک در استان گلستان را بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که ۸۷/۷٪ از بهره‌برداران مشارکتی در طرح‌های آب‌بخیزداری نداشتند و از این تعداد، ۳۹٪ از طرح آگاهی نداشتند، ۳۵٪ سرمایه نداشتند و ۲۶٪ نیز از محاسن طرح‌ها آگاهی نداشتند که سبب مشارکت نداشتن آنها شد. گارسیا و همکاران (۲۰۱۳) نگرش و رفتار ساکنین مناطق سواحل مدیترانه به حفاظت از منابع آب و اثر خصوصیات فردی و محیطی بر آن را ارزیابی کردند. نتایج این ارزیابی نشان داد که رابطه میان خصوصیات فردی و وابسته به محیط، معنی‌دار بود اما با نوع نگرش آن‌ها به حفاظت از منابع آب رابطه‌ای وجود نداشت. باقریان و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که رابطه میان عامل‌های رضایت از برنامه‌های پیشین، سطح آگاهی از برنامه‌ها، درآمد، نگرش مثبت به برنامه‌ها با مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آب‌بخیزداری معنی‌دار بود. در پژوهشی، بغدی و کورش (۲۰۱۴) مشارکت مردم و جامعه‌های محلی در برنامه‌های مدیریت آب‌بخیز در منطقه ویدارب‌ها در ایالت ماهاراشترا هند را بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد اندازه مشارکت مردم در مراحل برنامه‌ریزی و اجرای برنامه آب‌بخیز در حد متوسط بود؛ در حالی که، مشارکت در مراحل تعمیر و نگهداری زیاد

بود. عاشوری و همکاران (۲۰۱۶) نگرش کشاورزان برنجکار به برنامه‌های حفاظت آب و خاک در بخشی از شمال ایران را ارزیابی کردند. نتایج این ارزیابی نشان داد نگرش ۴۴/۸٪ از پاسخ‌دهندگان خوب بود. همچنین، رابطه میان درآمد کشاورزان و نگرش آن‌ها مثبت و معنی‌دار بود. می‌توان با بررسی همزمان انتظارات کارشناسان و ساکنین مناطق روستایی، اولویت‌ها و موانع مشارکت در طرح‌های آب‌نیرداری را شناسایی کرد. بیشترین اختلاف در اندازه اهمیت عامل‌ها از دیدگاه دو گروه کارشناسان و جامعه‌های محلی، مربوط به زیرشاخص‌های نادیده گرفتن منافع مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم و مشورت نکردن با جامعه‌های محلی (شورای روستا) در نیازسنجی طرح است (نور و همکاران ۲۰۲۱). نتایج تحلیل موانع مشارکت مردمی در طرح‌های آب‌نیرداری آب‌خیز نینه‌رود استان قزوین به وسیله دو گروه کارشناسان و جامعه‌های محلی نشان داد که سه زیرشاخص طراحی نکردن طرح‌های چندمنظوره، تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در مرکز و به کارنگرفته شدن نیروی محلی در اجرای طرح‌ها (اشتغال‌زایی)، مهم‌ترین زیرشاخص‌های مؤثر بر ضعف مشارکت مردم در طرح‌های آب‌نیرداری است (مصفايي و همکاران ۲۰۲۲). سه زیرشاخص شامل طراحی نکردن طرح‌های چند منظوره، تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در مرکز و به کارنگرفته شدن نیروی محلی در اجرای طرح‌ها (اشتغال‌زایی)، از جمله مهم‌ترین زیرشاخص‌های مؤثر بر ضعف مشارکت مردم در طرح‌های آب‌نیرداری هستند (مصفايي و همکاران ۲۰۲۱). نتایج بیانگر آن بود که تسلط فرآیند از بالا به پایین و فقدان انگیزه‌ها و مزایای اقتصادی، مهم‌ترین عامل‌های نبود مشارکت مردم در طرح‌ها است (صالح پورجم و همکاران ۲۰۲۲). فتحي و همکاران (۲۰۲۵) در آب‌خیز سد ایلام گزارش کردند که مشارکت جامعه‌های محلی در حفاظت از منابع آب در این آب‌خیز به شدت تحت تأثیر باورهای هنجاری، هنجارهای قانونی و هنجارهای مشارکتی بود و تقویت این عامل‌ها، همراه با افزایش آگاهی و بهبود حمایت دولت از برنامه‌های آموزشی و

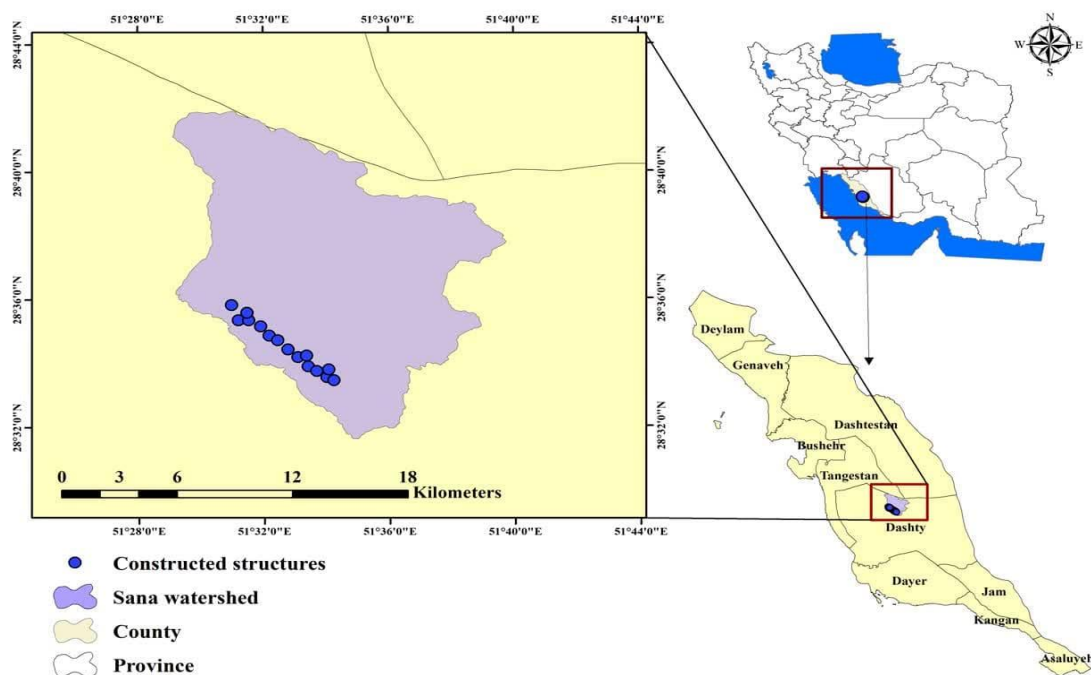
فرهنگی، می‌تواند منجر به رفتار مسئولانه‌تر و افزایش مشارکت در تلاش‌های حفاظتی شود. در پژوهشی مصفايي و همکاران (۲۰۲۰) دیدگاه‌های مردم محلی و کارشناسان آب‌خیز نینه رود استان قزوین شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی کردند و دریافتند در دیدگاه هر دو گروه، شاخص‌های مدیریتی و اقتصادی در مقایسه با شاخص‌های اجتماعی و آموزشی نقش مؤثرتری در جلوگیری از مشارکت مردم داشتند. افزون بر این، نتایج تحلیل موانع مشارکت مردمی در طرح‌های آب‌نیرداری در آب‌خیز نامبرده نشان داد مهم‌ترین اقداماتی که سبب رفع موانع مشارکت جامعه‌های محلی در طرح‌های آب‌نیرداری می‌شود، شناسایی، دسته‌بندی و رتبه‌بندی عامل‌هایی است که باعث ضعف مشارکت مردم در این طرح‌ها می‌شود. همچنین این پژوهشگران چند عامل مهم از جمله چندمنظوره طراحی نشدن طرح‌ها، تصمیم‌گیری متمرکز و اشتغال ناکافی محلی در اجرای طرح را شناسایی کردند. فتحي و همکاران (۲۰۲۵) عامل‌های مؤثر بر رفتار مشارکتی آب‌خیزنشینان در راستای حفاظت از منابع آب در آب‌خیز سد ایلام را بررسی کردند و دریافتند که هنجارها و باورهای اجتماعی نقش تعیین‌کننده‌ای در شیوه تعامل و مشارکت افراد با منابع آب داشت. اهمیت توجه به این عامل‌ها به‌ویژه در جامعه‌های محلی به این دلیل است که توسعه پایدار در هر منطقه به اندازه پایبندی مردم به قوانین و مقررات به حفاظت از منابع طبیعی از جمله منابع آبی، بستگی دارد. یافته‌ها بیانگر آن است که هرچه هنجارها، باورها و ارزش‌های آب‌خیزنشینان در زمینه حفاظت از منابع آب تقویت شود، رفتار مشارکتی آنها نیز ارتقا یافته و مسئولیت‌پذیری بیشتری در قبال حفظ منابع آب خواهند داشت. بررسی نتایج پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده تنوع عامل‌های مؤثر بر مشارکت جامعه‌های محلی در طرح‌های آب‌نیرداری است. دلیل این نکته تنوع شرایط محیطی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی و پیچیدگی روابط آن‌ها با یکدیگر است. نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که در هر آب‌خیز، به‌منظور اتخاذ تدابیر مفید و اثرگذار و رفع

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه پژوهش‌شده

حوزه آبخیز سد سنا که جزء بخش شنبه و طسوج شهرستان دشتی استان بوشهر می‌باشد، دارای دو دهستان به نام شنبه و طسوج بوده که در جنوب استان قرار دارد. موقعیت جغرافیایی بخیز سنا و سازه‌های آبخیزداری در این آبخیز در شکل ۱ نشان‌داده شده است. براساس آمارنامه سال ۱۳۹۵، جمعیت این دهستان ۴۸۰۵ نفر و ۱۳۲۱ خانوار است و شامل ۱۲ آبادی است.

موانع مشارکتی مردم، لازم است عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت به‌وسیله پژوهش دقیق و علمی، شناسایی شود. از سوی دیگر، می‌توان با بررسی همزمان انتظارات کارشناسان و ساکنین مناطق روستایی، اولویت‌ها و موانع مشارکت در طرح‌های آبخیزداری را شناسایی کرد. این موضوع ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، ضامن موفقیت و اجرای مؤثرتر طرح‌ها خواهد بود. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار جامعه‌های روستایی در طرح‌های آبخیزداری از دیدگاه کارشناسان جامعه‌های محلی در آبخیز سد سنا شهرستان دشتی در استان بوشهر، اجرا شد.



شکل ۱- موقعیت آبخیز سد سنا و سازه‌های آبخیزداری در این آبخیز.

Figure 1- The location of Sana Dam Watershed and watershed structures in this watershed.

مهم آبخیزداری و جمع‌آوری حجم قابل توجهی از آب‌های روان، باعث مدیریت بحران آبی که در اثر خشک‌سالی‌های پیشین رخ داده بود، شد و اگر این کار انجام نمی‌شد به‌طور یقین آبخیز سد سنا با شرایط کم آبی بدتری مواجه بود.

براساس آمارهای موجود پس از پیروزی انقلاب اسلامی تا سال ۱۴۰۰، مجموع ۱۳ سازه آبخیزداری در آبخیز سد سنا ساخته شده است و اجرای عملیات آبخیزداری و آبخوانداری افزون بر اینکه بخش زیادی از رواناب‌ها را مهار می‌کند، از فرسایش و هدررفت خاک نیز جلوگیری می‌کند و باعث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. به این دلیل انجام طرح‌های

روش پژوهش

این پژوهش براساس روش های پیمایشی و اسنادی انجام شد. از روش اسنادی برای ابعاد نظریه ای و مفهومی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی در نوشته ها و منابع مربوط به موضوع بهره گرفته شد. از روش پیمایشی برای شناسایی و طبقه بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی استفاده شد. آبخیز سد سنا شامل ۱۲ آبادی در شهرستان دشتی در استان بوشهر است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر طرح های آبخیزداری است. از این رو، جامعه آماری پژوهش شامل تمام خانوار روستاهای آبخیز سد سنا به تعداد ۱۳۲۱ خانوار شد. برای تعیین متغیرهای پژوهش از مقالات و گزارش های موجود و نیز از دیدگاه کارشناسان مرتبط با این طرح بهره گرفته شد.

اولویت بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی از دیدگاه کارشناسان

به منظور اولویت بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار مردمی در طرح های آبخیزداری به ترتیب از پرسش نامه های مرتبط با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مبتنی بر مقایسه های زوجی معیارها) و پرسش نامه با طیف لیکرت (خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵)) به عنوان ابزار اندازه گیری استفاده شد. پس از شناسایی و طبقه بندی زیرشاخص های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری، روایی پرسش نامه مبتنی بر دیدگاه خبرگان تأیید شد. سپس، از ۳۴ نفر از کارشناسان ادارات پژوهش و خدمات فنی آبخیزداری، امور فنی اجرایی آبخیزداری و اداره ارزیابی و اطلاعات جغرافیایی و نیز ادارات جنگلداری و جنگل کاری، مرتع و بیابان زدایی، اداره حفاظت و حمایت، استعدادیابی زمین و هم چنین اداره آموزش و ترویج اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان و شهرستان ها، با سابقه بیش از ۱۰ سال، نظرسنجی شد. به منظور تعیین امتیاز شاخص ها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی^۱ استفاده شد. در این پژوهش از

روش آلفای کرونباخ^۲ برای محاسبه اندازه پایایی یا قابلیت اعتماد پرسش نامه با طیف لیکرت استفاده شد. همچنین، برای تجزیه پراکنش دوطرفه با رتبه بندی از آزمون فریدمن استفاده شد و مقایسه میانگین رتبه بندی گروه های مختلف با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

اولویت بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی از دیدگاه ساکنان آبخیز

به منظور اولویت بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر نبود مشارکت پایدار مردمی در طرح های آبخیزداری از پرسش نامه با طیف لیکرت به عنوان ابزار اندازه گیری استفاده شد، و از ساکنان آبخیز پس از سنجش روایی و پایایی پرسش نامه، نظرسنجی شد. واحد نمونه، خانوار روستایی تعیین شد و حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران محاسبه شد. بر پایه تعداد خانوار موجود در این دهستان (۱۳۲۱ خانوار)، تعداد ۲۹۸ پرسش نامه تکمیل شد. تعداد خانوار، جمعیت و تعداد نمونه انتخاب شده از هر آبادی در جدول ۱ نشان داده شده است. به منظور رتبه بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر موانع مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری از آزمون فریدمن برای تجزیه پراکنش دوطرفه با رتبه بندی استفاده شد و مقایسه میانگین رتبه بندی گروه های مختلف انجام شد. پس از تکمیل پرسش نامه های مردمی به وسیله جامعه های محلی آبخیز سد سنا، اندازه آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۳ محاسبه شد که با توجه به اندازه بیش از ۰/۷ این ضریب، مشخص شد که پایایی ابزار اندازه گیری (پرسش نامه) قابل قبول است. به بیان دیگر، پایایی و سازگاری درونی زیرشاخص های تعیین شده مناسب است (ملاری و جورج ۲۰۰۳).

2- Cronbach Alpha Method

1- Fuzzy AHP

جدول ۱- تعداد خانوار، جمعیت و تعداد نمونه انتخاب‌شده از هر روستا.

Table 1- Number of households, population and sample selected from each village.

No	Name of the village	Number of households	The population	Number of samples
1	Baghan	415	1574	94
2	Eslamabad	21	85	5
3	Bonbid	51	170	12
4	Darvishi	122	426	28
5	Kerdelan	170	617	38
6	Beshak	5	16	1
7	Chahgah	92	334	۲۱
8	Kharvak	11	34	2
9	Kardeneh	22	69	5
10	Keshto	12	44	3
11	Haj Ahmadi farm	7	25	2
12	Sena	393	1411	89
total sum		1321	4805	298

پرسش از کارشناسان و نیز مراجعه به منطقه و مصاحبه حضوری با ساکنان و بهره‌برداران منطقه شناسایی شدند و در قالب شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها طبقه‌بندی شدند (جدول ۲).

شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی عامل‌های پرشماری می‌توانند بر نبود مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آب‌خیزداری اثرگذار باشند که در این پژوهش این عامل‌ها بر اساس پژوهش کتابخانه‌ای،

جدول ۲- شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در طرح‌های آب‌خیزداری.

Table 2- Indicators and sub-indices affecting non-participation of people in watershed projects.

Indicator	Subindex	Abbreviation
social	Low level of literacy and awareness	X1
	Local and ethnic differences	X2
	Lack of confidence in project results	X3
design-execution	Concentration of decision-making power at the center	X4
	Failure to employ local labor in project implementation (employment generation)	X5
	Lack of attention to NGOs (CSOs) and local trustees	X6
	Failure to seek input from stakeholders during the design and development stages of projects	X7
economic	Ignoring people's income as a direct economic incentive in implementing watershed management projects	X8
	The slow return on investment of watershed management projects	X9
	Low income of basin residents	X10
Educational and promotional	Lack of education of basin residents regarding relevant plans and goals	X11
	Not using a local promoter group	X12

نتایج و بحث

اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه خبرگان

برای اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. پرسش‌نامه‌های تحلیل سلسله‌مراتبی به‌وسیله ۳۴ کارشناس خبره تکمیل شد. نتایج نمایه‌های نسبت سازگاری و امتیازهای بهنجار شده محاسبه‌ای شاخص‌ها در جدول

۳ ارائه شده است. اندازه نسبت سازگاری محاسبه‌ای $(0/082)$ کمتر از $0/1$ بود ($CR \leq 0.1$)، که قابل قبول بود. دامنه تغییرات نسبت سازگاری قضاوت‌های کارشناسان خبره نیز از $0/08$ تا $0/9$ متغیر و قابل قبول بود. نتایج اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری نشان داد بیشترین و کمترین اولویت مربوط به شاخص‌های طراحی-اجرا، و آموزشی و ترویجی بود.

جدول ۳- نسبت سازگاری و امتیاز بهنجار شده محاسبه‌ای شاخص‌ها.

Table 3- Compatibility ratio and normalized calculation weight of indicators.

Indicator	CI	RI	CR	L	M	U	Normal weight
economic				0.18	0.39	0.76	0.409
social				0.06	0.14	0.33	0.156
design-execution	0.089	0.9	0.082	0.16	0.43	1.17	0.435
Educational and promotional				0.02	0.04	0.08	0.00

نتایج تحلیل دیدگاه کارشناسان خبره و اجرای آزمون فریدمن برای اولویت‌بندی زیرشاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری آبخیزهای استان بوشهر، در جدول ۴ ارائه شده است. بر پایه نتایج این جدول دامنه اندازه‌های میانگین رتبه‌ها از $4/06$ تا $8/49$ متغیر بود. همچنین اندازه سطح معنی‌داری کمتر از $0/01$ در آزمون فریدمن، بیانگر تفاوت معنی‌دار اهمیت نسبی

عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در سطح یک درصد بود. براساس، دیدگاه خبرگان، بیشترین و کمترین اولویت نسبی نبود مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری به‌ترتیب مربوط به زیرشاخص آموزش ندیدن ساکنان آبخیز در زمینه طرح‌ها و اهداف مربوط به آن (میانگین رتبه $8/49$) و زیرشاخص دیر بازده بودن طرح‌های آبخیزداری (میانگین رتبه $4/06$) بود.

جدول ۴- رتبه‌بندی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در فعالیت‌های آب‌خیزداری از دیدگاه خبرگان.

Table 4- Ranking of the factors affecting people's non-participation in watershed management activities from the point of view of experts.

Priority	agent	average rank	Number of samples	Kaye Eskoer	degree of freedom	Significant level
1	Lack of education of basin residents regarding relevant plans and goals	8.49				
2	Lack of attention to local workforce in project implementation (Employment creation)	8.26				
3	Lack of attention to the opinions and suggestions of watershed residents in the various stages of needs assessment, design, and implementation of watershed management projects.	7.78				
4	Ignoring people's income as a direct economic incentive in implementing watershed management projects	7.65				
5	Not using local promotional groups	7.53				
6	Concentration of decision-making power at the center	6.90	34	76.68	11	0.00
7	Low income of rural households in the basin	6.49				
8	Low level of literacy and awareness	6.06				
9	Lack of confidence in the results and effectiveness of projects	5.28				
10	Lack of attention to non-governmental organizations (NGOs) in watershed management planning	5.18				
11	Ethnic and local differences	4.34				
12	The slow return on investment of watershed management projects	4.06				

اندازه‌های میانگین رتبه‌ها از ۵/۸۹ تا ۸/۶۶ متغیر بود. همچنین اندازه سطح معنی‌داری کمتر از یک درصد در آزمون فریدمن، بیانگر تفاوت معنی‌دار اهمیت نسبی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در سطح یک درصد بود.

عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در فعالیت‌های آب‌خیزداری آب‌خیز سد سنا از دیدگاه جامعه‌های محلی نتایج تحلیل پرسش‌نامه‌های دیدگاه جامعه‌های محلی آب‌خیز سد سنا و اجرای آزمون فریدمن برای اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در طرح‌های آب‌خیزداری این آب‌خیز، در جدول ۵ ارائه شده است. بر پایه نتایج این جدول دامنه

جدول ۵- رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه جامعه‌های محلی آب‌خیز سد سنا.

Table 5- Ranking of indicators affecting people's non-participation from the perspective of local communities of Bushkan Watershed.

Priority	Indicator	average rank	Number of samples	kaye eskoer	degree of freedom	Significant level
1	economic	7.26				
2	design-execution	6.27				
3	social	5.46	298	20.13	3	0.26
4	Educational and promotional	7.23				

اولویت‌بندی زیرشاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی آن‌ها بر نبود مشارکت مردم در طرح‌های آب‌خیزداری این

نتایج تحلیل پرسش‌نامه‌های دیدگاه جامعه‌های محلی آب‌خیز سد سنا و اجرای آزمون فریدمن برای

دیدگاه جامعه‌های محلی آبخیز سد سنا، بیشترین و کمترین اولویت نسبی نبود مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری به ترتیب مربوط به زیرشاخص استفاده نکردن از گروه‌های مروج بومی (میانگین رتبه ۸/۸۲) و زیرشاخص کم بودن سطح سواد و آگاهی (میانگین رتبه ۴/۲۷) بود.

آبخیز، در جدول ۶ ارائه شده است. بر پایه نتایج این جدول دامنه اندازه‌های میانگین رتبه‌ها از ۴/۲۷ تا ۸/۸۲ متغیر بود. همچنین اندازه سطح معنی‌داری کمتر از یک درصد در آزمون فریدمن، بیانگر تفاوت معنی‌دار اهمیت نسبی عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در سطح یک درصد بود. براساس

جدول ۶- رتبه‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه جامعه‌های محلی آبخیز سد سنا.

Table 6- Ranking of sub-indices affecting people's non-participation from the perspective of local communities of Sana Dam Watershed.

Priority	agent	average rank	Number of samples	kaye eskoer	degree of freedom	Significant level
1	Not using local promotional groups	8.82				
2	Low income of rural households in the basin	8.29				
3	The slow return on investment of watershed management projects	7.77				
4	Lack of confidence in the results and effectiveness of projects	7.33				
5	Lack of attention to local labor in implementing projects (employment creation)	6.93				
6	Lack of attention to non-governmental organizations (NGOs) in watershed management planning	6.68				
7	Concentration of decision-making power at the center	6.27	298	60.62	11	0.00
8	Ignoring people's income as a direct economic incentive in implementing watershed management projects	6.03				
9	Lack of education of basin residents regarding relevant plans and goals	5.63				
10	Lack of attention to the opinions and suggestions of watershed residents in the various stages of needs assessment, design, and implementation of watershed management projects	5.19				
11	Ethnic and local differences	4.78				
12	Low level of literacy and awareness	4.27				

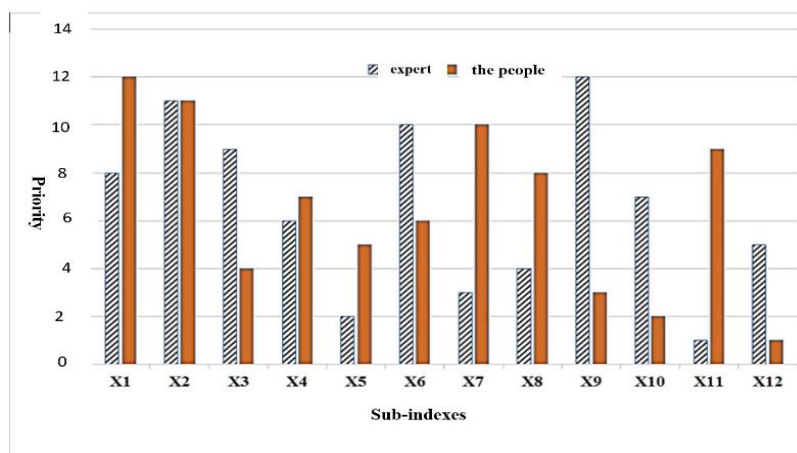
آموزش ندیدن ساکنان آبخیز در زمینه طرح‌ها و اهداف مربوط به آن، به کارگرفته نشدن نیروی محلی در اجرای طرح‌ها (اشتغال‌زایی) و نظرخواهی نشدن از سودبران در مراحل طراحی و تدوین طرح‌ها بود. از دیدگاه جامعه‌های محلی، بیشترین اولویت به ترتیب مربوط به زیرشاخص‌های استفاده نکردن از گروه‌های مروج بومی، درآمد کم ساکنان آبخیز و دیر بازده بودن طرح‌های آبخیزداری بود. در نتیجه رتبه اول مربوط به آموزش ندیدن و آگاهی لازم از طرح‌های آبخیزداری در میان جامعه‌های محلی، بود.

دیدگاه خبرگان با جامعه‌های محلی آبخیز سد سنا در زمینه شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در جدول ۷ مقایسه شده است. بر پایه نتایج این جدول، از دیدگاه خبرگان، اولین شاخص طراحی و اجرا بود در حالی که از دیدگاه جامعه‌های محلی طراحی-اجرا در اولویت سوم بود. همچنین از دیدگاه جامعه‌های محلی، جایگاه اول مربوط به شاخص اقتصادی بود در حالی که از دیدگاه خبرگان جایگاه این شاخص دوم بود (شکل ۲). مقایسه دیدگاه‌های دو گروه نشان داد که از دیدگاه خبرگان، بیشترین اولویت به ترتیب مربوط به زیرشاخص‌های

جدول ۷- رتبه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه خبرگان و جامعه‌های محلی آبخیز سد سنا.

Table 7- Ranking of indices and sub-indices affecting non-participation of people from the point of view of experts and local communities of Sana Dam Watershed.

Priority		Abbreviation	Subindex	Priority		Indicator
the people	Experts			the people	Experts	
12	8	X1	Low level of literacy and awareness			social
11	11	X2	Local and ethnic differences	4	3	
4	9	X3	Lack of confidence in project results			
7	6	X4	Concentration of decision-making power at the center			design-execution
5	2	X5	Failure to employ local labor in project implementation (employment generation)	3	1	
6	10	X6	Lack of attention to NGOs (CSOs) and local trustees			
10	3	X7	Failure to seek input from stakeholders during the design and development stages of projects			
8	4	X8	Ignoring people's income as a direct economic incentive in implementing watershed management projects	1	2	economic
3	12	X9	The slow return on investment of watershed management projects			
2	7	X10	Low income of basin residents			
9	1	X11	Lack of education of basin residents regarding relevant plans and goals	2	4	Educational and promotional
1	5	X12	Not using a local promoter group			



شکل ۲- اولویت‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه دو گروه خبره و جامعه‌های محلی آبخیز سد سنا.

Figure 2- Prioritization of sub-indices affecting people's non-participation from the perspective of two expert groups and Sana Dam Watershed local communities.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اجتماعی، طراحی-اجرا و آموزشی و ترویجی دسته‌بندی شدند. در آبخیز سد سنا استان بوشهر، نتایج امتیازهای به‌دست آمده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه کارشناسان نشان داد که بیش‌ترین نقش در شکل‌گیری نشدن مشارکت این

امروزه مدیریت مشارکتی به‌عنوان کارآمدترین نوع مدیریت در آبخیز شناخته‌شده است که نقش بسزایی در اهداف مدیریت جامع آبخیز دارد. در این پژوهش، ۱۲ عامل یا زیرشاخص مؤثر بر نبود مشارکت اهالی آبخیز در طرح‌های آبخیزداری، شناسایی شدند. سپس، این عامل‌ها در چهار گروه یا شاخص اصلی اقتصادی،

جامعه‌ها در طرح‌های آب‌نیرداری به‌ترتیب مربوط به شاخص‌های طراحی-اجرا، اقتصادی، اجتماعی و آموزشی و ترویجی، بود. نتایج به‌دست آمده از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم از دیدگاه جامعه‌های محلی تا حدودی در مقایسه با رتبه‌بندی کارشناسان خبره، متفاوت بود. از دیدگاه جامعه‌های محلی بیش‌ترین نقش در شکل‌گیری نشدن مشارکت این جامعه‌ها در طرح‌های آب‌نیرداری استان بوشهر در آب‌نیز سد سنا به‌ترتیب مربوط به شاخص‌های شاخص‌های اقتصادی، آموزشی و ترویجی، اجتماعی، طراحی-اجرا و اجتماعی بود. این نتایج نشان داد به‌طور کلی در آب‌نیز سد سنا، بیش‌ترین نقش در نبود مشارکت مردم از دیدگاه کارشناسان مربوط به شاخص طراحی-اجرا و از دیدگاه جامعه‌های محلی مربوط به شاخص اقتصادی بود. دلیل این موضوع نیز بی‌ارتباط با آگاهی کمتر جامعه‌های محلی نسبت به کارشناسان در زمینه مسایل مربوط به عامل طراحی اجرا برای طرح‌های آب‌نیز نیست. کارشناسان بر این باورند که توجه نداشتن به مشارکت جامعه‌های محلی در مسایل طراحی و سپس اجرای طرح‌های آب‌نیرداری باعث نوعی خوشبین نبودن نسبت به طرح‌های اجرایی آب‌نیرداری می‌شود. نتایج پژوهش صالح‌پور جم و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر معرفی شاخص‌های اقتصادی و برنامه‌ریزی به‌عنوان اولویت‌دارترین عامل‌های مؤثر بر نبود مشارکت سودبران در طرح‌های آب‌نیرداری، با نتایج این پژوهش تا حدودی هم‌خوانی دارد. بر پایه مقایسه‌ها و بررسی‌های دیگر منابع کمترین اندازه اهمیت مربوط به شاخص آموزش و ترویج بود (منصوری و همکاران ۲۰۱۶؛ فیض‌نیا و همکاران ۲۰۰۶؛ صالح‌پور جم و همکاران ۲۰۱۷). همچنین نتایج امتیازهای به‌دست آمده از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم بیانگر تفاوت نقش زیرشاخص‌های مؤثر بر نبود مشارکت مردم در طرح‌های آب‌نیرداری بود. افزون بر این، اندازه اهمیت این زیرشاخص‌ها نیز از دیدگاه دو گروه کارشناسان و جامعه‌های محلی،

متفاوت بود. از دیدگاه کارشناسان، بیش‌ترین و کمترین اهمیت در نبود مشارکت مردم به‌ترتیب مربوط به زیرشاخص آموزش ندیدن ساکنان آب‌نیز در زمینه طرح‌ها و اهداف مربوط به آن و زیرشاخص دیربازده بودن طرح‌های آب‌نیرداری بود. از دیدگاه جامعه‌های محلی آب‌نیز سد سنا، بیش‌ترین و کم‌ترین اهمیت در نبود مشارکت مردم به‌ترتیب مربوط به زیرشاخص استفاده نکردن از گروه مروج بومی و زیرشاخص کم بودن سطح سواد و آگاهی بود. نتایج این پژوهش با یافته‌های صالح‌پور جم و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر شناسایی و معرفی زیرشاخص تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در مرکز به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر نبود مشارکت مردم در طرح‌های منابع طبیعی مشرف به شهر تهران، هم‌راستا نیست. نتایج این پژوهش نشان داد رابطه میان اعتماد نداشتن به مجریان طرح‌ها و نبود مشارکت مردم در طرح‌های آب‌نیرداری، معنی‌دار بود. برای مشارکت بیش‌تر و پایدارتر بهره‌برداران در مراحل مختلف اجرای طرح‌های آب‌نیرداری جلب اعتماد بهره‌برداران از مهم‌ترین اقدامات می‌باشد. نتایج این پژوهش با یافته‌های محمدی (۲۰۰۴) و اخلاقی (۲۰۰۶) هماهنگی دارد. بر پایه نتایج این پژوهش، مشخص شد میان مشارکت بهره‌برداران در دوره‌های آموزشی و ترویجی و نبود مشارکت مردم در طرح‌های آب‌نیرداری، رابطه وجود دارد و تأثیر دوره‌های آموزشی بر کسی پوشیده نیست. در شرایطی که دوره‌های آموزشی، به‌طور منظم برگزار شود، اندازه مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آب‌نیرداری تا حد زیادی افزایش خواهد یافت. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های ثمری (۲۰۰۳)، اخلاقی (۲۰۰۷) و عباس‌زاده (۲۰۰۷) هماهنگی دارد. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که افزایش مشارکت بهره‌برداران نیازمند ارتباط قوی میان کارشناسان، مروجان و بهره‌برداران ساکن در آب‌نیز است که با یافته‌های بقایی و همکاران (۲۰۰۶) و ثمری (۲۰۰۳) هم‌راستا است. افزون بر این، بر اساس نتایج این پژوهش، شناخته‌نشدن اهداف و برنامه‌های آب‌نیرداری از جمله متغیرهایی است که

می‌شود. در نظر گرفتن منافع آبخیزنشینان و اجرای طرح‌های چندمنظوره با هدف ایجاد انگیزه اقتصادی مستقیم و ارتقای درآمد خانوار روستایی موجب کاهش موانع مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری خواهد شد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده و در دسترس است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: نگارش و ارائه محتوا، مفهوم‌سازی و نگارش مقاله

نویسنده دوم: همکاری در نگارش و انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري

مانع از مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری است. در این راستا، برگزاری کلاس‌های توجیهی، بازدید از طرح‌های اجرا شده در دیگر مناطق تا حد زیادی سبب برطرف شدن موانع برای مجریان و دست اندرکاران طرح‌ها خواهد شد. این نتایج با یافته‌های بقایی و همکاران (۲۰۰۶)، همت‌زاده و خلیقی (۲۰۰۶) و اخلاقی (۲۰۰۶) هم‌راستا است. بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود برگزاری دوره‌ها و کلاس‌های آموزشی با هدف افزایش اطلاعات و دانش جامعه‌های محلی در ارتباط با طرح‌های آبخیزداری، در اولویت باشد. همچنین، پیشنهاد می‌شود معتمدترین افراد محلی (ریش سفیدان و بزرگان، افراد تحصیل‌کرده، اعضای شورای اسلامی و معلمان روستاها)، به‌عنوان مروج بومی برای اهالی منطقه در کنار سازمان‌های مردم نهاد (سمن‌ها) به‌کارگرفته شوند تا با ترویج اهداف طرح‌ها، زمینه جلب مشارکت مردم در طرح‌های مزبور را فراهم آورند. افزون بر این، برای فراهم آوردن شرایط مشارکت فعال آبخیزنشینان در مراحل مختلف تصمیم‌گیری، طراحی- اجرا و نگهداری و ترمیم طرح‌های آبخیزداری، تدوین شرح خدمات نوین مدیریت جامع‌های آبخیز بر اساس مشارکت جامعه‌های محلی و دیگر سودبران، پیشنهاد

فهرست منابع

- Abdolmaleki Mo, Pejzi Rad GH, Chizari M. 2007. Investigating the effectiveness of short-term extension training courses for rangers in Tuyserkan County. Agricultural Sciences. 3(1):39-53. SID. <https://sid.ir/paper/7702/fa>
- Atmis EDI, Lise W, Yildiran O. 2007. Factors affecting women's participation in forestry in Turkey. Ecological Economics. 60(4): 787-796. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.02.016
- 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. (In Persian). DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30023-X
- Baghaei M, Chizari M, Pejzikirad GH, Feli S. 2008. Individual and social factors affecting the participation of villagers in the Zarchashmeh-Hunjan watershed in watershed management projects. Iranian Agricultural Extension and Education Sciences. 4(1): 87-73. (In Persian) SID. <https://sid.ir/paper/109331/fa>
- Bagherian R, Goodarzi M, Sanaei-Torqabeh M, Bagherian-Kalaat A. 2017. Investigating the dimensions of public participation in watershed management plans using factor analysis. Iranian Journal of Watershed Science and Engineering. 11 (36): 75-69. (In Persian). <https://sid.ir/paper/134726/f>
- Bagherian R, Samah B, Samah, AA, Ahmad S. 2009. A social exchange approach to people's participation in watershed management programs in Iran. European Journal of Scientific Research. 34(3): 428-441. (In Persian). https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2227216
- Eslami A, Noor H. 2022. Investigating and prioritizing factors affecting the non-participation of rural societies in watershed management projects (Case study: Asadli

Watershed, North Khorasan Province). Journal of Rainwater Catchment Systems 2022. 10(2):1-10. (In Persian). <http://jircsa.ir/article-1-463-fa.html>

Feiznia S, Jam AS, 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): 12-26. (In Persian). DOI:10.22092/wmej.2020.342128.1319

Garcia X, Muro M, Ribas A, Llausàs A, Jeffrey P, Saurí D. 2013) Attitudes and behaviours towards water conservation on the Mediterranean coast: The role of socio-demographic and place-attachment factors. Water International. 38(3): 283-296. DOI: 10.1080/02508060.2013.794641

Haidari SH, Wright S. 2001. Participation and participatory development among the KalhorNomads of Iran. Community Development Journal.36(1): 53-62. (In Persian). <https://www.jstor.org/stable/44257596>

Hemmatzadeh Y, Khalighi N. 2006. Investigating factors affecting the lack of participation of users in rangeland and watershed management projects. Case Study: Users of the Kechik Representative Area in Golestan Province. Agricultural Sciences and Natural Resources. 13(4): 100-15. (In Persian) <https://sid.ir/paper/9800/fa>

Hoque M, Itohara Y. 2008. Participation and decisionmaking role of rural women in economic activities: A comparative study for members and non-members of the micro- credit organizations in Bangladesh. Journal of Social Sciences. 4(3): 229-36. DOI: 10.3844/jssp.2008.229.236

Ichailidis A. 2016. Understanding the attitudes and practices of paddy farmers for enhancing soil and water conservation in Northern Iran. International Soil and Water Conservation Research. 4(4): 260-266. DOI: 10.1016/j.iswcr.2016.09.003

Salehporjam A, Tabatabaei MR, Mosaffaie J, Soltani, MJ, Shadmani A. 2022. Barriers to participatory implementation of soil conservation projects: Perspectives and priorities. Environmental Science and Policy. 131: 36-45. (In Persian). DOI: 10.1016/j.envsci.2022.01.016

Mohammadi Golrang, B, Fodsi L, Sadeghi H. 2016. Evaluating the relationship between

the independent variable of awareness of soil conservation and watershed management operations with public participation in watersheds for rural development. Geography and Development. 14(44): 208-189. (In Persian). <https://sid.ir/paper/77138/fa>

Mosaffaie J, Salehpour Jam A. 2021. Prioritization of factors preventing participation of rural people in soil & water conservation projects (The case of Vers watershed). Journal of Agricultural Science and Technology. 23(5): 975-986. (In Persian). <http://jast.modares.ac.ir/article-23-39252-en.html>

Piroo T, Moqim H, Rahmani A. 2007. Study of social and economic factors affecting the level of rural participation in the PRA watershed management plan. The Fourth National Conference on Watershed Science and Engineering, Karaj (Faculty of Natural Resources, University of Tehran). (In Persian) <https://civilica.com/doc/44884>

Saleh Pourjam, A, Rasouli F, Sarrashtehdari A, Mosfaei J, Kianian M. 2019. Investigating social indicators affecting public lack of participation in natural resource projects using AHP method and nonparametric tests. Watershed Engineering and Management. 12(1): 339-330. (In Persian).

Saleh Pourjam A, Sarrashtehdari A, Tabatabaei MR. 2017. Prioritizing factors affecting the lack of stakeholder participation in watershed management plans based on experts' perspectives, Study area: Watersheds overlooking Tehran City. Watershed Engineering and Management. 9(4):450-467. (In Persian). <https://sid.ir/paper/234567/fa>

Salehpour Jam A, Karimpour R, Majid K, Mohammad K, and Tajiki M. 2012. Investigating factors affecting public lack of participation in natural resource projects. Case Study: Quchak and Rudak Region. The First National Desert Conference, Tehran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/160183>

Taie-Semiromi S, Ahmadi M. 2016. An insight into the most important factors affecting participation and non-participation in watershed management projects and its feedback on the livelihoods of users. 11th National Conference on Watershed Science and Engineering, Yasuj, Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/510784>



Identification and Prioritization of Factors Affecting the Lack of Sustainable Participation of Rural Communities in Watershed Management Projects in the Sana Dam Watershed, Bushehr Province

Ali Jafari^{1*}, Parviz Bayat²

1 and 2- Assistant Professor of Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Numerous factors contribute to the lack of public participation in watershed management projects. Awareness of the factors inhibiting public participation in watershed management projects is the most fundamental step in realizing effective public participation and achieving the goals of comprehensive watershed management. In this regard, prioritizing indicators and sub-indicators that affect the lack of public participation is a fundamental step in the cycle of public watersheds management proper management of watersheds. Identifying and prioritizations factors is the key to adopting measures to eliminate barriers to stakeholder participation and maximize the participation of watershed residents. The comprehensive and efficient watershed management plans are implemented by the Natural Resources and Watershed Management Organization and its affiliated general departments of natural resources and watershed management in various provinces of the country. This, along with reduce implementation costs, also guarantees the success and more effective implementation of projects. This research aimed to identify and prioritize the factors affecting the lack of sustainable participation of rural communities in watershed management plans in the Sana Dam watershed of Bushehr province based on the views of watershed residents and experts.

Materials and Methods

The research area was the Sana Dam watershed, part of the Shanbeh and Tasuj districts of Dashti County in Bushehr Province in the south of the country. In the watershed, after determining and classifying the indicators and sub-indicators affecting the lack of sustainable public participation in watershed management plans from the perspective of watershed residents, paired comparison questionnaires and Likert scale were used as measurement tools, and the validity of the questionnaires was confirmed based on the experts perspectives. After completing the analytic hierarchy process questionnaires by 34 experts, the indicators were prioritized using the fuzzy analytic hierarchy process. The sample unit was determined as a rural household, and the Cochran formula was used to calculate the sample size. Based on the number of households in this rural district (1321 households), 298 questionnaires were completed by the head of the household.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** a_j472000@yahoo.com

Citation: Jafari, A., Bayat, P. 2025. Identification and Prioritization of Factors Affecting the Lack of Sustainable Participation of Rural Communities in Watershed Management Projects in the Sana Dam Watershed, Bushehr Province. Watershed Management Research. 38(4):72-87.

DOI:10.22092/wmrj.2025.369843.1625

Received: 08 July 2025, **Received in revised form:** 09 August 2025, **Accepted:** 22 September 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol. 38, No. 4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp.72-87.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Results and Discussion

The results of the hierarchical analysis from the experts' perspective show that the relative priority in the lack of public participation in watershed management plans in the Sana Dam watershed was related to the sub-index of not educating watershed residents about the plans and their goals (mean rank 8.49), and the lowest relative priority was related to the sub-index of being late-paying watershed management plans (mean rank 4.06). From the perspective of local communities, the highest relative priority in the lack of public participation in watershed management projects in this watershed was related to the sub-index of not using local advocacy groups (mean rank 8.82) and the lowest relative priority was related to the sub-index of low literacy and awareness (mean rank 4.27).

Conclusion and Suggestions

In the Sana Dam watershed of Bushehr province, the results of the weights obtained from the fuzzy analytic hierarchy process method for ranking the indicators affecting the lack of public participation from the perspective of experts indicate that the greatest role in the lack of participation of local communities in watershed management plans was related to the design-implementation, economic, social, and finally educational and promotional indicators, respectively. The results obtained from the Friedman test for ranking the indicators affecting the lack of public participation from the perspective of local communities were somewhat different from the rankings results from the perspective of experts. From the perspective of local communities, the greatest role in the lack of participation of these communities in watershed management plans in Bushehr province in the Sana Dam watershed was related to economic, educational and promotional, social, design-implementation, and social indicators respectively. According to the results of this research, it is suggested that holding training courses and classes with the aim of increasing the information and knowledge of local communities regarding watershed management projects should be priority. It is also suggested that the most trustee's local people (white-bearded and elderly people, educated people, members of the Islamic Council, and village teachers) be employed as local promoters for the residents of the region, along with public organizations (associations), to promote the goals of the projects and provide the basis for attracting public participation in the said projects. In addition, to provide conditions for the active participation of watershed residents in various stages of decision-making, design-implementation, and maintenance and restoration of watershed management plans, it is recommended to develop a description of new watershed management services based on the participation of local communities and other beneficiaries. Also, in order to employ local labor and villagers in implementing projects and create some kind of employment for them, it is suggested to sign concluding contracting contracts with the council or villagers, amending contractors' contracts, and regulating and including a clause on employing local residents in implementing projects.

Keywords: Friedman tests, Fuzzy hierarchical analysis, ranking, Sena Dam watershed, watershed management, watershed residents' participation

Article Type: Research Article

Conflicts of Interest

The authors of this article declare that they have no conflicts of interest regarding the writing and publication of the content and results of this research.

Data Availability Statement:

All information and results are presented and available in the text of the article.

Authors' Contribution

Author 1: Writing and presenting content, conceptualizing and writing articles

Author 2: Collaboration in performing software/statistical analyses



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

پژوهش‌های آب‌نخرداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های غرب آبخیز مهارلو و تأثیر آن‌ها بر فرسایش و حفاظت خاک

- حمید حسینی‌مردی^{۱*}، سید مسعود سلیمان‌پور^۲، مریم عنایتی^۳، ابوالحسن مقیمی^۴، حمیدرضا پیروان^۵
- ۱- 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
 - ۲- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
 - ۳- کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
 - ۴- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
 - ۵- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

مارن‌ها سنگ‌هایی متخلخل (با تخلخل ۷۳ تا ۹۵٪) هستند. سازندهای مارنی رسوب‌زایی زیادی دارند و ویژگی‌های متفاوت فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها، بر شدت و نوع فرسایش تأثیرگذارند. شکل و شدت فرسایش آبی به‌شدت تحت تأثیر تغییرات بافت خاک است. بر پایه نتایج پژوهش‌های پیشین، بیشترین همبستگی مارن‌ها با شدت فرسایش مربوط به عامل‌های فیزیکی و شیمیایی آنها (توزیع ذرات به‌ویژه ذرات شن) است. با افزایش اندازه ماسه در مقایسه با ذرات سیلت و رس، فرسایش آب‌کندی (خندقی) نیز افزایش خواهد یافت. شاخص نسبت رس در رخداد فرسایش آب‌کندی و شاخص حجم رواناب در رخداد فرسایش سطحی و شیارهای مارن‌ها تعیین‌کننده هستند. از سوی دیگر، اندازه‌های سدیم، منیزیم، درصد کربن آلی، pH و SAR، در شکل‌های فرسایش سطحی، شیار و هزارده‌ای مارن‌ها، تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مستول مکاتبات: hhmarand@gmail.com

استناد: حسینی‌مردی، ح.، سلیمان‌پور، س. م.، مقیمی، ا.، پیروان، ح. ر. ۱۴۰۴. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های غرب آبخیز مهارلو و تأثیر آنها بر فرسایش و حفاظت خاک. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۴): ۱۰۷-۸۸.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368766.1618

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۸۸ تا ۱۰۷.

نویسندگان

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



خاک‌های مارنی موادی در حال تکامل هستند که با افزودنی‌هایی می‌توان ویژگی‌های ذاتی آن‌ها را بهبود بخشید و امکان استفاده از آن‌ها را فراهم آورد. استقرار پوشش گیاهی روی مارن‌ها نیز یک نکته مهم است و درصد رس و گچ موجود در مارن‌ها رابطه تنگاتنگی با استقرار گیاه روی خاک‌های مارنی دارد. از این‌رو، مارن‌ها مسائل و مشکلات با اهمیتی مرتبط با استفاده، تثبیت، ساخت‌وساز، فرسایش و رسوب‌زایی دارند. سازندهای مارنی در آبخیز مهارلو در استان فارس گسترش زیادی دارند و این موضوع نشان‌دهنده قابلیت زیاد آبخیز برای ایجاد فرسایش و تولید رسوب است و شناخت ویژگی مارن‌های آبخیز برای استفاده در برنامه‌های حفاظت خاک کاربرد دارد.

مواد و روش‌ها

آبخیزهای تنگ‌سرخ و بردکل با مساحت ۵۰۰ هکتار جزء آبخیز مهارلو و در غرب شیراز است. تقریباً تمام سطح این زیرآبخیزها را سازند زمین‌شناسی گچساران می‌پوشاند. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، پستی‌بلندی، شیب و دیگر مستندات موجود و مشاهده شکل‌های فرسایشی در عرصه، در سه طبقه شیب (کمتر از ۵٪، ۵ تا ۱۰٪ و ۱۰ تا ۲۰٪)، ۱۱ نمونه خاک مارنی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برداشت شد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe)، اسیدیته گل اشباع خاک (pH)، اندازه کلسیم، منیزیم، سدیم، کربنات، کلر، بی‌کربنات، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد گچ و اندازه کربنات کلسیم معادل اندازه‌گیری شدند. تجزیه خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک بر اساس روش مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد. اندازه ذرات خاک با روش هیدرومتری و بافت خاک بر اساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا تعیین شد. بررسی‌های آماری داده‌ها و تعیین تأثیر متغیرها بر نوع فرسایش با استفاده از آزمون t با دو جمعیت مستقل انجام شد. افزون بر این، تجزیه و تحلیل پراکنش، تجزیه و تحلیل عامل‌های اصلی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS) انجام شد.

نتایج و بحث

تفاوت اندازه کربنات کلسیم معادل در منطقه تنگ‌سرخ و بردکل در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اندازه آن در تنگ‌سرخ به مراتب بیشتر از بردکل بود. تفاوت اندازه ماسه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد که اندازه آن در بردکل بیش از تنگ‌سرخ بود. در مارن‌های دو زیرآبخیز نیز تفاوت اندازه اسیدیته در سطح یک درصد معنی‌دار شد و در تنگ‌سرخ بیش از بردکل بود. اندازه سولفات مارن‌های بردکل به مراتب بیش از تنگ‌سرخ بود و این تفاوت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اندازه بی‌کربنات در مارن‌های بردکل بیش از تنگ‌سرخ بود و این تفاوت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. تفاوت اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته و کلسیم مارن‌ها در شکل‌های فرسایشی گوناگون در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد. میان دو منطقه در مارن‌های با فرسایش آب‌کندی (خندقی)، تفاوت اندازه ظرفیت تبادل یونی و اسیدیته، معنی‌دار شد. اندازه‌های اسیدیته، کربنات کلسیم معادل، یون سدیم و درصد رس در مارن‌های تنگ‌سرخ بیش از بردکل بود و در دیگر متغیرها اندازه‌ها در بردکل بیشتر بود. در دو واحد آب‌شناختی بررسی‌شده، بیشترین و کمترین اندازه کربن آلی به ترتیب در فرسایش شیاری و سطحی مشاهده شد. افزون بر این، بیشترین کمترین اندازه درصد رطوبت به ترتیب در فرسایش سطحی و شیاری مشاهده شد. اندازه بی‌کربنات نیز در فرسایش شیاری بیش از دیگر شکل‌های فرسایشی بود. تعیین اندازه عامل‌هایی مانند بی‌کربنات، کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته و یون کلسیم، درصد شن و مجموع سیلت و رس در بروز شکل‌های فرسایشی کمک‌کننده بودند. در مارن‌های منطقه، اندازه زیاد نسبت جذبی سدیم (SAR) می‌تواند موجب غلبه بیشتر فرسایش سطحی و شیاری در مقایسه با فرسایش آب‌کندی (خندقی) شود. در مارن‌های سازند گچساران، احتمالاً شوری تحت تأثیر افزایش اندازه گچ بود و از نقش آن در تشدید فرسایش کاسته شد. وجود کربنات کلسیم بیشتر در مارن‌های آبخیز تنگ‌سرخ سبب پایداری بیشتر آنها شد که دلیل آن مهار بیشتر اثر شوری و سدیم بود. درصد جذب آب مارن‌های تنگ‌سرخ در مقایسه با مارن‌های بردکل بیشتر بود. از این‌رو، قابلیت حرکات فرسایشی از نوع توده‌ای نیز در مارن‌های تنگ‌سرخ بیشتر بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد به‌دلیل ویژگی‌های مارن‌ها در آبخیز مهارلو و نقش مؤثر آن‌ها بر فرسایش و رسوب، در پژوهش‌های محلی باید به آنها توجه ویژه داشت. در این آبخیز، برای مهار فرسایش و رسوب، شناسایی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها مانند یون‌های بی‌کربنات، کلسیم، سدیم، شوری، درصد شن و رس اهمیت دارند. در نتیجه، برای موفقیت بیشتر طرح‌های اجرایی در پژوهش‌های آبخیزداری، توجه به نقش ویژگی‌هایی مانند اندازه گچ در کاهش شوری و تأثیر اسیدیته بر نوع فرسایش‌ها نیز ضروری است. بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود برای مدیریت رسوب‌گذاری در آبخیز مهارلو، از پوشش گیاهی و مالچ‌های زیست‌پذیر برای تثبیت خاک استفاده شود و سدهای رسوب‌گیر ساخته شود. همچنین، بهره‌گیری از فناوری‌های GIS و سنجش‌ازدور برای شناسایی مناطق بحرانی و تدوین برنامه‌های مدیریت منابع آب و خاک پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی

آبخیزداری، پوشش گیاهی و تثبیت خاک، رسوب‌زایی مارن‌ها، ظرفیت تبادل کاتیونی، فرسایش آب‌کنندی

مقدمه

به‌طور کلی واژه مارن به خاک یا سنگی گفته می‌شود که ترکیبی از رس و کربنات کلسیم است و اندازه کربنات آن از ۳۵ تا ۶۵٪ متغیر است (پتی‌جان ۱۹۷۵، یانگ و همکاران ۲۰۰۷، العمودی ۲۰۱۰). در مارن‌ها شکل‌های گوناگونی از فرسایش مانند فرسایش سطحی^۱، شیری^۲، آب‌کنندی (خندقی)^۳ و تونلی^۴ به وجود می‌آیند. شوری بسیاری از رودهای کشور و حتی سفره‌های آب زیرزمینی، ناشی از طبقه‌های مارنی حاوی لایه‌های گچ و نمک است. ویژگی‌های متفاوت فیزیکی، شیمیایی و زمین‌شیمیایی مارن‌ها، بر شدت و نوع فرسایش تأثیر دارند. رسوب‌زایی زیاد سازندهای مارنی معمولاً به‌دلیل وجود کانی غالب اسمکتیت^۵ است (حشمتی و همکاران ۲۰۲۴). از این‌رو، شناخت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به عملیات حفاظت از آن‌ها کمک می‌کند.

نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که عامل‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها، مانند توزیع ذرات به‌ویژه ذرات شن آنها بیشترین همبستگی را با شدت

فرسایش دارند (اتایب و همکاران ۲۰۲۳). در دیگر پژوهش‌ها نیز، درصد سدیم تبدلی (ESP) و نسبت جذبی سدیم (SAR) زیاد و EC دلیل پخشیدگی خاک گزارش شده است و پژوهشگران شکل‌های فرسایش سطحی، شیری، توسعه آب‌کنند (خندقی) و تشکیل هزاردره در مارن‌ها را ناشی از آن می‌دانند (کنی و همکاران ۱۹۸۴، گوتی‌ریز و بنی‌تو ۱۹۹۳، احمدی ۱۹۹۹، رینکس و همکاران ۲۰۰۰). در پژوهش‌های پرشماری تفاوت اندازه‌های سدیم، منیزیم، درصد کربن آلی، pH و SAR در شکل‌های فرسایش سطحی، شیری و هزاردره‌ای معنی‌دار شده است (حشمتی و همکاران ۲۰۱۱، سعیدیان و همکاران ۲۰۱۴، سلماسی و احمدی ۲۰۱۲، سلماسی و پیروان ۲۰۱۱). تأثیرگذاری کانی‌های رسی بر اندازه مقاومت توده خاک و تأثیرگذاری درصد کربنات کلسیم و نوع کانی رسی بر پایداری بیشتر مارن‌های سفید در مقایسه با مارن‌های خاکستری و قهوه‌ای از دیگر نتایج بررسی رفتارهای فرسایشی مارن‌ها است. در میان شکل‌های گوناگون فرسایش مارن‌ها بیشترین pH، در فرسایش توده‌ای و بیشترین اندازه گچ و درصد شن در فرسایش آب‌کنندی (خندقی) و کمترین آن‌ها در فرسایش هزاردره (بدلند^۶) مشاهده شد (نعمتی

1- Sheet Erosion

2- Rill Erosion

3- Gully Erosion

4- Tunell Erosion

5- Smectite

6- Badland

۱۹۹۳، خلیلی ۲۰۱۲، بوما و امسون ۲۰۰۰، طالبی و همکاران ۲۰۱۳). در آبخیزهای کوچک سرشت سنگ های مارنی و خاک های رسی با توسعه فرسایش و تولید رسوب ارتباط تنگاتنگی دارند (فیض نیا ۱۹۹۵، رینک و همکاران ۲۰۰۰، حسن زاده و همکاران ۲۰۰۶). آزمایش های شیمیایی خاک های مارنی نشان داده است که ارتباطی میان درصد کربنات کلسیم و محتوای آلی خاک وجود ندارد. با افزایش محتوای آلی خاک، حد مایع^۷ (LL) و انعطاف پذیری خاک افزایش می یابد. با افزایش محتوای CaCO_3 خاک، LL خاک کاهش می یابد و خاک کمتر پلاستیک می شود. ویژگی خاک های مارنی به محتوای آلی و محتوای CaCO_3 بستگی دارد. از این رو، خاک باید از دیدگاه محتوای آلی و محتوای کربنات کلسیم طبقه بندی شود (چولمین، ۲۰۱۱، رینی و همکاران ۲۰۲۳). در ایندیانا آمریکا طبقه بندی خاک های مارنی در قالب طرح پژوهشی راه سازی و حمل و نقل انجام شد و مارن ها در چهار طبقه شناسایی شدند (الهوایک و همکاران ۲۰۱۲). الف) خاک با مارن جزئی (کربنات کلسیم بیشتر از ۱٪ و کمتر از ۹٪)، ب) خاک با کمی مارن (کربنات کلسیم بیشتر از ۱۰٪ و کمتر از ۱۷٪)، ج) خاک با مقداری مارن (کربنات کلسیم بیشتر از ۱۸٪ و کمتر از ۲۶٪)، د) خاک مارنی (کربنات کلسیم بیشتر از ۲۶٪ و کمتر از ۴۰٪)، ه) مارن (کربنات کلسیم بیشتر از ۴۰٪). تنوع ویژگی های مهندسی خاک مارنی، نشان دهنده مشکل آن ها در تثبیت است و به این دلیل برای پایداری آن ها روش های گوناگونی به کار گرفته شده است. در این راستا، می توان به روش استفاده از پوزولان های طبیعی^۸ برای تثبیت مارن ها اشاره کرد که بیشتر اهداف و دیدگاه های تثبیت و ایجاد سازه روی مارن ها را دنبال می کند. خاک مارن، باعث کاهش انبساط و شکل پذیری آن و در نتیجه آمادگی آن برای ساخت و ساز می شود (العمودی و همکاران ۲۰۱۰، بهادری و هاشمی نژاد، ۲۰۱۹). بیشترین کانی های رسی مارن های منطقه پارس جنوبی ایران

مربوط به گروه اسمکتیت یا ایلیت با فعالیت تورم کم تا متوسط است. مارن های منطقه نامبرده به عنوان آهک آرژیلی، مارن آهکی و مارن (بر اساس محتوای کربنات) طبقه بندی شده اند و به طور کلی دو طبقه به عنوان مارن آهکی و مارن سنگ معرفی شده اند. افزون بر این، افزایش کربنات سبب کاهش قابلیت ویرانی و افزایش سنجه های چگالی و مقاومت مارن شده است؛ که بر پایه نتایج برخی پژوهش ها، این موضوع قابل قبول است (آذرافزائی ۲۰۱۹). نتایج تجزیه و تحلیل کانی شناسی مارن ها بیانگر آن است که مارن ها حاوی اندازه های کمتری (۲۶٪) مواد معدنی رسی (ایلیت، اسمکتیت و کائولینیت)، هستند در حالی که کانی های غیر رسی (کوارتز، کلسیت و دولومیت) تا ۷۳٪ محتوای آن ها را تشکیل می دهند (مسار و همکاران ۲۰۲۰). رسوبات تبخیری در فاصله های کوتاه بسیار متغیر بوده و به شدت بر کیفیت خاک تأثیر گذارند و باعث ایجاد خاک های گوناگون می شوند. مشاهده نیم رخ های خاک توسعه یافته و مراحل هوازگی پیشرفته، فقط زمانی امکان پذیر است که رس های دریایی، ماده اصلی باشند. سنگ آهک و رسوبات گچی، تشکیل خاک و تبدیل مواد معدنی را به شدت محدود می کنند (اگلی و همکاران ۲۰۲۰). مارن ها سنگ هایی متخلخل هستند که تخلخل آنها از ۴۰ تا ۷۳٪ متغیر است (کوی و همکاران ۲۰۲۱). نتایج بررسی اثر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی رسوبات مارن بر فرسایش در لانتشور پاکدشت نشان داد که اندازه Na^+ ، SO_4^{2-} و سیلت در زمین مارن افزایش یافته و درصد رس کاهش یافته است (رضایی ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). شکل و شدت فرسایش آبی به شدت تحت تأثیر تغییرات بافت خاک است. با افزایش اندازه ماسه در مقایسه با ذرات ریزتر سیلت و رس، فرسایش آبکندی (خندقی) بیشتر ایجاد می شود (پارسادوست و همکاران ۲۰۲۲). در رخداد فرسایش آبکندی، شاخص نسبت رس و در رخداد فرسایش سطحی و شیاری مارن ها شاخص حجم رواناب تعیین کننده هستند (سکوتی و همکاران ۲۰۱۴). شناسایی مارن ها اغلب بر اساس تجزیه و تحلیل توزیع اندازه ذرات، pH، ظرفیت

7- Liquid Limit

8- Natural Pozzolans

تبادل کاتیونی (CEC)، کربنات و اندازه کربن آلی است. مارن‌ها به دلیل آسیب‌پذیری در برابر تغییرات رطوبت، تورم، انقباض، ویژگی‌های سازه‌ای همراه با جذب آب فراوان و ظرفیت باربری کم و همچنین به دلایل اقتصادی، بوم‌سازگان و فنی، نیاز به مواد اصلاح‌کننده و تثبیت‌کننده (سنگ‌دانه‌های بتن بازیافتی، پوزلاند و غیره) دارند (آل‌خفاجی و آل‌بسام و پرن ۲۰۱۰، قابزلو ۲۰۰۱). خاک‌های مارنی موادی در حال تکامل هستند که با افزودنی‌هایی می‌توان ویژگی‌های ذاتی آن‌ها (اندازه چسبندگی، زاویه اصطکاک و ظرفیت باربری و همچنین اندازه بهینه آهک در آن‌ها) را بهبود بخشید و امکان استفاده از آن‌ها را فراهم آورد (اتایب و همکاران ۲۰۲۳). تغییر pH خاک بر رفتار مهندسی مارن، تأثیرگذار بوده و با تغییرات pH اولیه، ریخت‌شناسی و طبقه‌بندی مارن نیز تغییر می‌کند. با کاهش pH اولیه و با حذف کربنات از ساختار خاک مارنی (در pH برابر چهار)، حد مایع و حد پلاستیک به ترتیب ۱۹ و ۸ واحد افزایش یافت. ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری غیر محبوس نیز کاهش یافت (امیری و صالحیان ۲۰۲۲). در زمین‌های مارنی شمال شرق چین، رشد و پیشرفت فرسایش آب‌کندی (خندقی) ۰/۲۵ تا ۰/۱۵ متر در سال و تراکم آب‌کند (خندقی) در هر کیلومتر مربع، ۰/۱۲ تا ۰/۲۳ کیلومتر گزارش شده است (ون و همکاران ۲۰۲۱). استقرار پوشش گیاهی روی مارن‌ها نیز یک موضوع مهم است و درصد رس و گچ موجود در مارن‌ها رابطه تنگاتنگی با استقرار گیاه روی خاک‌های مارنی دارد (یوسفی و پیروان ۲۰۲۲). بررسی نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که مشکلات مارن‌ها در تثبیت، ساخت‌وساز، فرسایش و رسوب‌زایی اهمیت زیادی دارند. در طبقه‌بندی‌های ارائه شده که بیشتر مرتبط با ویژگی‌های زمین‌سازه‌ای است کمتر به ویژگی‌های بوم‌سازگان، فرسایش و رسوب مارن‌ها به دلیل ماهیت متغیر و پیچیده آن‌ها، چالش‌های نمونه‌گیری و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی توجه شده است. درحالی‌که نتایج پژوهش‌ها بر نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در به وجود

آمدن شکل‌های فرسایشی و شدت و ضعف فرسایش و رسوب‌زایی آن‌ها تأکید دارد. ازاین‌رو، بر اساس این ویژگی‌ها می‌توان آن‌ها را طبقه‌بندی کرد و برای مهار و پیشگیری فرسایش و رسوب برنامه ریزی کرد. سازندهای مارنی در آبخیز مهارلو در استان فارس گسترش نسبتاً زیادی دارند و بیش از ۱۱٪ از سطح آبخیز را سازندهای واجد سنگ‌های مارنی تشکیل می‌دهند (پاک‌پور و همکاران ۲۰۰۸). این موضوع نشان‌دهنده قابلیت زیاد آبخیز برای ایجاد فرسایش و تولید رسوب است. در مناطقی با سازندهای مارنی، اندازه‌های فرسایش تا ۳۵۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال نیز گزارش شده است (ساریخانی و محمودزاده ۲۰۲۱). ازاین‌رو، این پژوهش با هدف شناخت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های این آبخیز رسوب‌زا انجام شد. افزون بر این، این رسوب‌زایی بر پرشدن دریاچه مهارلو به‌عنوان آبگیر پایانی آبخیز نامبرده و اهمیت این موضوع در برنامه‌های پژوهشی گسترده‌تر و مدیریت اجرایی حفاظت خاک آبخیز، تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش شده

واحدهای آب‌شناختی تنگ‌سرخ با مساحت ۲۲۵ هکتار و بردکل با مساحت ۲۷۵ هکتار در غرب شیراز و غرب آبخیز دریاچه مهارلو می‌باشند (شکل ۱).

ویژگی‌های اقلیمی

در آبخیز مهارلو میانگین بارندگی (آمار ۵۰ ساله ایستگاه هواشناسی همدید شیراز)، بر اساس منحنی‌های هم‌تراز بارش، حدود ۴۴۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن برابر ۱۸/۱۶°C است (ایستگاه هواشناسی همدید شیراز). بیشترین اندازه رطوبت نسبی ۶۵/۶۰٪ (دی‌ماه) و کمترین آن ۲۴/۰۱٪ (تیرماه) و بیشترین تبخیر برابر ۴۰۵/۹ میلی‌متر (تیرماه) و کمترین آن برابر ۲۹/۱ میلی‌متر (دی‌ماه) است. تعداد روزهای یخبندان نیز ۴۲ روز است (آمار ایستگاه همدید شیراز). بر اساس روش پهنه‌بندی اقلیمی با استفاده از روش‌های آماری تعیین

عامل های اصلی (PCA) و تحلیل انجام شده خوشه ای پایگانی برای تفکیک مکانی نواحی اقلیمی، اقلیم منطقه معتدل است (خسروشاهی و همکاران ۲۰۲۱).

زمین شناسی منطقه

منطقه پژوهشی در ناحیه ساختمانی زاگرس، از نواحی های زمین ساختی فعال ایران بود. زیرآبخیزهای بررسی شده شامل سازند زمین شناسی گچساران مربوط به دوران سوم زمین شناسی بود. این سازند روی سازند آسماری که جوان تر از آن است، بود. سازند گچساران سازندی تبخیری و در منطقه بررسی شده سنگ شناسی آن شامل لایه های نازک شیل با خردشدگی فراوان، شیل ماسه ای نازک، مارن قهوه ای رنگ و مارن خاکستری بود. ریخت آن در عرصه، تپه ماهوری و همراه با واریزه و خاک نسبتاً زیاد بود. تبغه های شیلی و شیل ماسه ای در آن مقاوم تر و به شکل رگه های سنگی نمایان بود. در سطح این سازند بجای انیدریت بیشتر ژئیس که نمونه بدون آب آن است، مشاهده شد. به دلیل پایداری کم و فرسایش پذیری زیاد سنگ های ریزدانه رسی، سیلتی و گچی این سازند، زمین ریخت شناسی آن ملایم و اغلب با دامنه های منظم است. فرسایش اصلی در این منطقه از نوع آبی بود و از دیدگاه زمین شناسی نیز می توان این شکل های فرسایشی را منطبق با ویژگی های سنگ شناسی، چینه شناسی و ساختمان زمین شناسی واحدها بررسی کرد. شکل های فرسایشی در سازند گچساران فرسایش شیاری، میان شیاری و گاهی تونلی و آبکندی (خندقی) بودند.

ویژگی های خاک منطقه

واحد زمین های غالب در محدوده بررسی شده شامل گیتاشناسی تپه و رخساره زمین ریخت شناسی دامنه پوشیده، با شیب منظم بود که به شکل مرتع و چراگاه فصلی از آن استفاده می شود. خاک بیشتر منطقه کم ژرفا بافت خاک سطحی سیلتی لوم و قابلیت نفوذ متوسط بود. به دلیل لایه سخت سنگی در کمتر از یک متر نفوذ پذیری عمقی بسیار کم بود. اسیدیته (pH) خاک ۷/۴۷، بدون محدودیت قلیائیت یا مسمومیت سدیمی بود. هدایت الکتریکی

عصاره اشباع خاک 0.74 dS/m بود. با توجه به وضعیت نفوذ پذیری خاک سطحی و لایه های زیرین، خاک در گروه آب شناختی D بود. ضریب فرسایش پذیری خاک سطحی بر اساس روش ویشمایر در معادله جهانی فرسایش (k) 0.49 محاسبه شد. در این محدوده، وضعیت رطوبتی xeric و وضعیت حرارتی ترمیک بود. گیاهانی که در سطح منطقه (نه ضرورتاً بر سطح مارن ها) مشاهده شدند شامل گون^۹، گرامینه^{۱۰}، کاهوی وحشی^{۱۱}، کلاه میر حسن^{۱۲}، بومادران^{۱۳}، خار زرد^{۱۴}، خارشتر^{۱۵}، کنگر^{۱۶}، کهورک^{۱۷}، آویشن^{۱۸}، گوش بره^{۱۹} و در ارتفاعات درختچه و درختان، کیکم^{۲۰}، ارژن^{۲۱}، خوشک^{۲۲} و بادام کوهی^{۲۳} بودند.

نمونه برداری و آزمایش ها

با استفاده از نقشه زمین شناسی (گسترش مارن ها)، نقشه شیب و بازدیدهای میدانی در سه طبقه شیب (کمتر از ۵٪، ۱۰-۵٪ و ۲۰-۱۰٪) که یک یا چند نوع از سه شکل فرسایشی (سطحی، شیاری و آبکندی) متداول در مارن ها وجود داشت، نمونه برداری از مارن به شکل نظام مند (انتخاب محل نمونه با توجه به حضور یکی از شکل های فرسایشی مد نظر) انجام شد (شکل ۱). در هر کدام از آبخیزها، ۱۱ نمونه خاک از سطح مارن ها برداشت شد و به آزمایشگاه فرسایش و رسوب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منابع طبیعی منتقل شد. ژرفای نمونه ها، متناسب با شکل فرسایش بود. در فرسایش سطحی نمونه خاک از ژرفای ۱۵-۰، در فرسایش شیاری از ژرفای ۳۰-۰ و در فرسایش

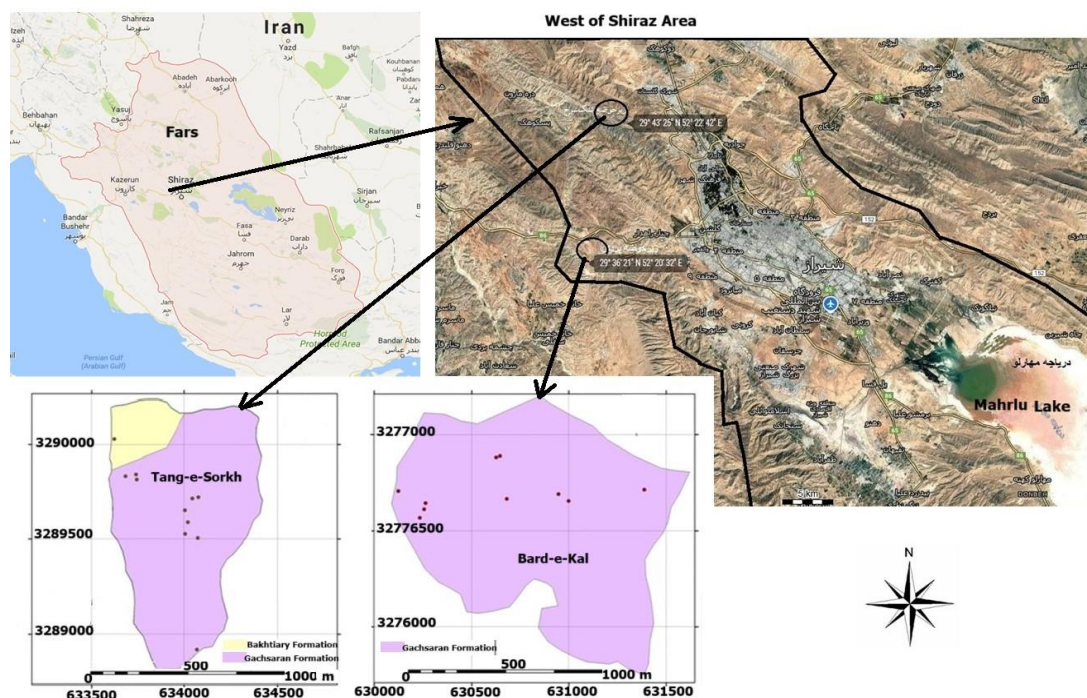
- 9- *Astragalus spp.*
- 10- *Poaceae*
- 11- *Lactuca serriola*
- 12- *Echinops ritro*
- 13- *Achillea millefolium*
- 14- *Salsola kali*
- 15- *Alhagi maurorum*
- 16- *Cynara cardunculus*
- 17- *Tamarix spp.*
- 18- *Thymus vulgaris*
- 19- *Prunus spinosa*
- 20- *Acantholimon spp.*
- 21- *Amygdalus orientalis*
- 22- *Hymenocallis spp.*
- 23- *Prunus amygdalus*

تعیین شد (آلیسون و مودیس ۱۹۶۵). روش‌های به‌کار برده‌شده برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک بر اساس روش مؤسسه تحقیقات خاک و آب بود (احیائی و بهبهانی‌زاده ۱۹۹۷). تعیین اندازه ذرات خاک با روش هیدرومتری انجام شد. سپس، با استفاده از مثلث بافت خاک بر اساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا نوع بافت تعیین شد (یواس دی آ ۲۰۲۰). جرم‌مخصوص ظاهری، جرم‌مخصوص حقیقی، تخلخل و درصد جذب آب، در آزمایشگاه مکانیک خاک اندازه‌گیری شدند. برای بررسی و تجزیه و تحلیل‌های آماری عامل‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها از نرم‌افزار آماری (SPSS) استفاده شد. همچنین، از روش‌های آزمون t ، تجزیه و تحلیل پراکنش، آزمون دانکن و تجزیه و تحلیل عامل‌های اصلی نیز استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه‌شده است.

آبکندی (خندقی) از ژرفای ۳۰-۶۰ و یا بیشتر (با توجه به ژرفای آبکند) و از دیواره آبکند (خندق) نمونه برداشت شد (ویشمایر ۱۹۷۸، علوی و شریفی ۲۰۱۸). هدایت الکتریکی عصاۃ اشباع خاک (ECe) و اسیدیته گل اشباع خاک (pH)، بعد از گذشت یک شبانه‌روز از تهیه گل اشباع، با دستگاه هدایت‌سنج و اسیدیته‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شدند. اندازه کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات با روش کمپلکسومتری با انجام تیتراسیون، اندازه‌گیری شدند (فائو ۲۰۲۰). اندازه سدیم با استفاده از روش نورسنجی و با دستگاه فلیم‌فتومتر، اندازه‌گیری شد. اندازه کربنات با توجه به اینکه pH آن کمتر از ۸/۳ بود، صفر در نظر گرفته شد (اسکوگ و همکاران ۱۹۹۰). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) با جانشین کردن تمام کاتیون‌های قابل‌تبادل با یون سدیم و عصاۃ‌گیری با استات سدیم (pH=۸/۲) تعیین شد. اندازه کربن آلی با روش اکسیداسیون گرم تعیین شد (فائو ۲۰۲۰). گچ خاک نیز با استفاده از روش استون اندازه‌گیری شد. اندازه کربنات کلسیم معادل نیز با روش آلیسون و مودیس



شکل ۱- موقعیت واحدهای آب‌شناختی بررسی‌شده، سازند زمین‌شناسی و نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1 - The location of the study area, Geological Formation and sampling points of two hydrogeological units.

جدول ۱ - مقایسه میانگین ماسه، سیلت و رس مارن آبخیز تنگ‌سرخ (T) و بردکل (B) با استفاده از آزمون t.

Table 1 - Comparison of the Mean Sand, Silt, and Clay Content in the Marls of Tang-e-Sorkh (T) and Bard-e-Kal (B) Watersheds Using the T-Test.

Variable	Sub-basin	Mean	Standard Deviation	Standard Error	Significance
Sand	T	20.15	8.86	2.67	0.06 *
	B	28.20	9.22	2.92	
Silt	T	44.16	4.67	1.41	0.41
	B	41.24	10.48	3.32	
Clay	T	35.69	6.48	1.95	0.13
	B	30.56	8.39	2.65	

جدول ۲ - مقایسه میانگین آنیون و کاتیون‌های خاک مارنی آبخیز تنگ‌سرخ (T) و بردکل (B) با آزمون t.

Table 2 - Comparison of the Mean Anions and Cations in the Marly Soil of Tang-e-Sorkh (T) and Bard-e-Kal (B) Watersheds Using the T-Test.

Variable	Sub-basin	Mean	Standard Deviation	Standard Error	Significance
Na ⁺	T	0.76	0.10	0.03	0.297
	B	4.96	13.02	3.93	
Mg ²⁺	T	2.30	2.74	0.83	0.083
	B	7.05	8.16	2.46	
Ca ²⁺	T	7.58	11.06	3.34	0.102
	B	16.08	12.19	3.68	
Sum.Cations	T	10.64	13.17	3.97	0.08
	B	28.09	28.45	8.58	
SO ₄ ²⁻	T	5.74	11.64	3.51	0.044 *
	B	21.33	21	6.33	
CL ⁻	T	1.09	0.48	0.15	0.196
	B	4.64	8.78	2.65	
HCO ₃ ⁻	T	1.51	0.36	0.11	0.044 *
	B	2.15	0.91	0.28	
Sum.Anions	T	10.57	12.80	3.86	0.075
	B	28.11	28.15	8.49	

جدول ۳ - مقایسه میانگین کربن آلی، گچ، رطوبت، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی، شوری و اسیدیته

خاک مارنی آبخیز تنگ‌سرخ (T) و بردکل (B) با استفاده از آزمون t.

Table 3 - Comparison of the Mean Organic Carbon, Gypsum, Moisture, Equivalent Calcium Carbonate, Cation Exchange Capacity, Salinity, and Soil pH in the Marly Soil of Tang-e-Sorkh (T) and Bard-e-Kal (B) Watersheds Using the T-Test.

Variable	Sub-basin	Mean	Standard Deviation	Standard Error	Significance
OC	T	0.12	0.05	0.02	0.008
	B	0.24	0.21	0.06	
T.N.V	T	43.64	5.12	1.54	0.00 **
	B	31.17	11.40	3.44	
Gypsum	T	5.00	9.69	2.92	0.15
	B	11.92	11.80	3.56	
C.E.C	T	12.83	2.06	0.62	0.21
	B	14.04	2.29	0.69	
SP	T	50.91	4.74	1.43	0.15
	B	47.51	5.88	1.77	
EC	T	0.88	0.92	0.28	0.08
	B	2.17	2.14	0.64	
pH	T	8.13	0.25	0.07	0.00 **
	B	7.72	0.20	0.06	

شکل‌های فرسایشی

تفاوت اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیت و کلسیم مارن‌ها در شکل‌های فرسایشی مختلف در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد. اندازه کربنات کلسیم معادل و اسیدیت در فرسایش سطحی کمتر از دیگر شکل‌های فرسایشی بود. اندازه گچ و اندازه یون کلسیم در فرسایش سطحی بیش از دیگر شکل‌های فرسایشی بود (جدول ۴ و ۵). به‌منظور تعیین تفاوت اندازه متغیرها و شکل‌های فرسایش در دو منطقه، آزمون t با دو جهت مستقل مقایسه انجام شد. نتایج به این شرح بود.

الف) فرسایش شیبی

در مارن‌های واجد فرسایش شیبی دو زیرآبخیز، تفاوت اندازه کربن آلی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اندازه آن در زیرآبخیز بردکل بیش از تنگ‌سرخ

بود (جدول ۳). تفاوت اندازه بی‌کربنات مارن‌ها نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل یونی، اندازه رس، اسیدیت، درصد رطوبت، نسبت جذب سدیم و یون سدیم در تنگ‌سرخ بیش از بردکل بود ولی در دیگر متغیرها شرایط عکس بود (جدول‌های ۱، ۲ و ۳).

ب) فرسایش آب‌کندی (خندقی)

در مارن‌های با فرسایش آب‌کندی (خندقی)، تفاوت اندازه ظرفیت تبادل یونی و اسیدیت در دو زیرآبخیز معنی‌دار شد (جدول ۳). در زمین‌های با این نوع فرسایش، اندازه‌های اسیدیت، کربنات کلسیم معادل، یون سدیم و اندازه رس در مارن‌های تنگ‌سرخ بیشتر بود و در دیگر متغیرها این اندازه‌ها در بردکل بیشتر بود (جدول‌های ۱، ۴ و ۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین متغیرها (عامل‌های شیمیایی مارن‌ها) در شکل‌های فرسایشی زمین مارنی محدوده بررسی‌شده.

Table 4 - Comparison of the Mean Variables (Chemical Factors of Marls) in the Erosional Landforms of the Studied Marly Areas.

TR	OC	T.N.V	CaSo ₄	C.E.C	Sand	Silt	Clay
Rill Erosion	0.21	39.43	7.93	12.90	22.40	44.11	33.49
Gully Erosion	0.17	39.63	4.16	13.68	22.64	42.73	34.62
Surface Erosion	0.07	23.97	23.12	14.47	32.73	38.87	28.40

جدول ۵- مقایسه میانگین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها در شکل‌های فرسایشی زمین‌های مارنی بررسی‌شده.

Table 5 - Comparison of the Mean Physicochemical Variables of Marls in the Erosional Landforms of the Studied Marly Areas.

TR	SAR	SP	pH	EC	Sum.Cations	Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Sum.Anions	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Rill Erosion	0.49	47.27	7.98	1.03	12.71	0.75	2.33	9.63	12.68	9.40	1.26	2.04
Gully Erosion	1.47	50.23	7.97	1.72	21.38	5.77	5.72	9.89	21.37	12.24	4.66	1.71
Surface Erosion	0.28	52.66	7.59	2.58	35.50	1.17	9.33	25	35.47	31.17	2.83	1.47

تجزیه و تحلیل عامل‌های اصلی در ایجاد شکل‌های فرسایشی

برای تعیین مؤثرترین متغیرها در شکل‌های گوناگون فرسایشی از تحلیل عاملی استفاده شد. نتایج آن به این شرح است.

الف) فرسایش شیاری

بر اساس نتایج این پژوهش اندازه‌های ویژه چهار مؤلفه اول، بیش از یک بود که باید در نظر گرفته شوند. با انجام چرخش پراکنش مشخص شد که اندازه‌های یون سدیم، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل یونی و اندازه کربن آلی بیشترین ضریب و مؤثرترین متغیرها در فرسایش شیاری بودند (جدول‌های ۴ و ۵).

ب) فرسایش آب‌کندی (خندقی)

بر اساس نتایج این پژوهش اندازه‌های ویژه سه مؤلفه اول بیش از یک به دست آمد که باید در نظر گرفته شده و نشان‌دهنده مؤثر بودن اندازه‌های کربن آلی، گچ، یون سدیم و یون کلر بودند (جدول‌های ۴ و ۵).

ج) فرسایش سطحی

در منطقه پژوهشی دو مؤلفه در نظر گرفته می‌شود که با توجه به ضریب‌های اندازه‌های گچ، رس، کاتیون کلسیم و آنیون سولفات مؤثرترین متغیرها در این شکل فرسایشی هستند (جدول‌های ۱، ۴ و ۵).

نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر زیاد اندازه کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مارنی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار میان درصد رس و کربنات کلسیم معادل در دیگر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (اسمیت و همکاران ۲۰۲۰). وجود کربنات در خاک مارنی موجب همآوری رس در افق‌های فوقانی، افزایش اندازه دانه‌ها و کاهش جابجایی آن‌ها می‌شود (جونز و براون ۲۰۱۸). نتایج تجزیه پراکنش نشان داد که تفاوت اندازه‌های بی‌کربنات در سه شکل فرسایشی معنی‌داری بود و در فرسایش سطحی و شیاری بیشتر از فرسایش آب‌کندی بود. این یافته با نتایج پژوهش رحیمی و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است. نتایج این پژوهش با یافته‌های عبدی‌نژاد و فیض‌نیا (۲۰۲۱)،

موسوی و همکاران (۲۰۲۱)، سوری و عبدی‌نژاد (۲۰۲۰) مبنی بر اینکه غلظت بی‌کربنات در نمونه‌های سطحی در مقایسه با نمونه‌های عمقی بیشتر است هماهنگی دارد. نتایج مقایسه متغیرها در شکل‌های فرسایشی نشان داد تفاوت اندازه‌های کربنات کلسیم معادل، گچ، pH و یون کلسیم در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود و در فرسایش سطحی، اندازه کربنات کلسیم معادل و pH کمتر و اندازه یون کلسیم و گچ بیشتر از دیگر شکل‌های فرسایشی بود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش زارعی و همکاران (۲۰۱۹) هماهنگی دارد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که در فرسایش شیاری، هدایت الکتریکی، سدیم، کربن آلی و ظرفیت تبادل یونی مهم‌ترین متغیرها بودند. در حالی که در فرسایش آب‌کندی، سدیم، کلر، کربن آلی و گچ تأثیرگذارند. مهم‌ترین متغیرها در فرسایش سطحی، کلسیم، سولفات، گچ و رس بودند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش علیزاده و کریمی (۲۰۲۱) هم‌راستا است.

با وجود شرایط زمین‌شناسی مشابه، تفاوت زیادی در مارن‌های منطقه از دیدگاه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشاهده شد. نسبت جذبی سدیم (SAR) زیاد در مارن‌ها باعث افزایش فرسایش سطحی و شیاری می‌شود. اسیدیته نیز نقش مهمی در مهار فرسایش دارد. به‌طوری‌که مارن‌های قلیایی فرسایش‌پذیرترند. نتایج پژوهش حسینی و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که افزایش pH منجر به افزایش فرسایش شد و با کاهش آن می‌توان فرسایش را کاهش داد. یکی از روش‌های کاهش pH خاک و کاهش فرسایش، استفاده از مواد اصلاح‌کننده مانند گوگرد است. گوگرد باعث pH خاک شده و شرایط بهتری برای جلوگیری از فرسایش فراهم می‌آورد (نوروزی و همکاران ۲۰۱۸). همچنین، نتایج این پژوهش بیانگر رابطه مثبت شوری با افزایش ژرفا بود. هرچند تغییرات شوری نسبت به عمق به عامل‌های گوناگونی از جمله ویژگی‌های فیزیکی محلی خاک و ویژگی‌های اقلیمی بستگی دارد ولی معمولاً با افزایش

ژرفا، شوری افزایش می‌یابد. این یافته با نتایج پژوهش جعفری و همکاران (۲۰۲۵) هماهنگی دارد.

کربنات کلسیم معادل تأثیر مهمی بر پایداری مارن‌ها دارد و می‌تواند اثر شوری و سدیم را مهار کند. نتایج این پژوهش نشان داد در شرایطی که کربنات کلسیم معادل بیش از ۴۰٪ باشد، شدت و نوع فرسایش مهار می‌شود. در مارن‌های ماسه‌ای و بافت لومی، فرسایش کمتر و اغلب از نوع شیاری است (قربانی و احمدی ۲۰۱۶، سلماسی و پیروان ۲۰۱۱).

شوری، گچ، کربنات کلسیم معادل، اسیدیته، سولفات، نسبت جذبی سدیم و بافت، عامل‌های مؤثر در طبقه‌بندی مارن‌ها هستند. همچنین، هدایت الکتریکی متغیر مهمی در تفکیک مارن‌ها به‌شمار می‌آید. تفاوت در نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در مورد مارن‌ها را می‌توان به تفاوت در سازندهای زمین‌شناسی مارنی نیز مربوط دانست (رحمانی و همکاران ۲۰۱۵، رضایی ۲۰۱۶، پورحیدری و همکاران ۲۰۲۰).

ویژگی‌های خاکی و حساسیت به فرسایش در دو زیرآبخیز بررسی شده

نتایج مقایسه ویژگی‌های خاک در دو زیرآبخیز تنگ‌سرخ و بردکل نشان داد تفاوت این دو منطقه از دیدگاه کیفیت خاک و حساسیت به فرسایش قابل توجه است. یکی از نکات برجسته این مقایسه، تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اندازه حساسیت آن‌ها به فرسایش بود. در زیرآبخیز بردکل، اندازه کربن آلی برابر با ۲۴/۰ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی برابر با ۱۴/۰۴ cmol/kg تعیین شد. در زیرآبخیز تنگ‌سرخ اندازه کربن آلی ۱۲/۰ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۲/۸۳ cmol/kg تعیین شد که در مقایسه با بردکل، کمتر بود (جدول ۳). این تفاوت بیانگر حاصلخیزی بیشتر و ظرفیت نگهداری مواد مغذی در خاک بردکل است. از سوی دیگر، حساسیت به فرسایش در خاک تنگ‌سرخ به دلیل اندازه رس بیشتر، مواد آلی کمتر و سدیم قابل تبادل بیشتر، در مقایسه با بردکل بیشتر بود.

عامل دیگر در تفاوت فرسایش این دو زیرآبخیز، نقش یون‌ها در فرآیند فرسایش خاک بود (جدول ۲). در

زیرآبخیز تنگ‌سرخ، غلظت بیشتر یون سدیم (Na^+) و اندازه بیشتر هدایت الکتریکی (EC) موجب پراکندگی بیشتر ذرات رس و کاهش چسبندگی خاک شد. در نتیجه فرسایش شیاری در این زیرآبخیز در مقایسه با بردکل، بیشتر بود. این موضوع با نتایج پژوهش پیشین مبنی بر اینکه خاک‌های با سدیم زیاد و اندازه ESP بیشتر، حساسیت بیشتری به فرسایش دارند، همخوانی دارد (ابوکریم ۲۰۱۸). از سوی دیگر، در زیرآبخیز بردکل، نقش مواد محلول مانند گچ (CaSO_4) و کربنات کلسیم (CaCO_3) در فرسایش بیشتر مشاهده شد. وجود این مواد سبب تغییرات ساختاری در خاک می‌شود و برخی از انواع فرسایش، مانند فرسایش آبکندی را تشدید می‌کند. پژوهش‌های مشابه در مناطق نیمه‌خشک ایران و دیگر نقاط دنیا نشان داده‌اند که گچ و کربنات کلسیم زیاد می‌تواند تأثیر زیادی بر ساختار خاک و افزایش فرسایش داشته باشد (جعفری و همکاران ۲۰۲۰، لاماس و براوو ۲۰۱۳). نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران هماهنگی دارد. در این راستا، نتایج پژوهش ابوکریم (۲۰۱۸) نشان داد که خاک‌های با رس بالاتر و SAR بیشتر، کاهش نفوذپذیری بیشتری دارند و بنابراین می‌توانند حساسیت بیشتری به فرآیندهای مرتبط با فرسایش خاک نشان دهند. همچنین، مناطق با اندازه‌های زیاد گچ و کربنات کلسیم، همانند آنچه در این پژوهش در بردکل مشاهده شد، تحت تأثیر تغییرات شیمیایی خاک بوده و فرسایش بیشتری دارند (جعفری و همکاران ۲۰۲۰). با این حال، نتایج برخی دیگر از پژوهش‌ها بیانگر آن است که کاهش اندازه کربن آلی همیشه به‌طور مستقیم منجر به افزایش فرسایش نمی‌شود و دیگر عامل‌ها مانند پوشش گیاهی و شدت بارندگی نیز نقش مهمی در این فرآیند دارند (مرادی و همکاران ۲۰۱۶). مقایسه این دو زیرآبخیز که فاصله کمی (کمتر از ۵۰ کیلومتر) از یکدیگر داشتند، مشخص کرد که در بررسی آبخیزهای مارنی بهتر است به پژوهش‌های محلی بیشتر توجه شود و با دقت بیشتری نتایج را به دیگر مناطق تعمیم داد. این

یکنواخت، باعث کاهش حدود ۱/۳ میلی متر از ژرفای دریاچه در یک رخداد منفرد خواهد شد. ادامه این فرآیند در بلندمدت، منجر به کاهش ظرفیت تالاب در تعدیل سیلاب ها، افزایش خطر خشکی، تغییرات زیست محیطی گسترده و تأثیر منفی بر تنوع زیستی منطقه خواهد شد. از این رو، اجرای اقدامات حفاظتی و مدیریتی ضروری است. از جمله راه کارهای پیشنهادی می توان به استفاده از پوشش گیاهی و مالچ های زیست پذیر برای تثبیت خاک در مناطق مارنی، ساخت سازه های مهار فرسایش و سدهای رسوب گیر در مسیرهای سیلابی، به کارگیری GIS و سنجش از دور برای شناسایی مناطق بحرانی و تدوین برنامه های جامع مدیریت آبخیز، اشاره کرد. بدون مداخله مدیریتی، این روند می تواند در آینده ای نه چندان دور تهدیدی جدی برای دریاچه مهارلو و بوم سازگان منطقه باشد. از این رو، برنامه ریزی جامع و اجرای اقدامات مهارکننده، ضروری و فوری است.

یافته ها نشان داد که برای تحلیل دقیق تر فرآیندهای فرسایشی، به بررسی هم زمان متغیرهای مختلف محیطی و زمین شناسی نیاز است.

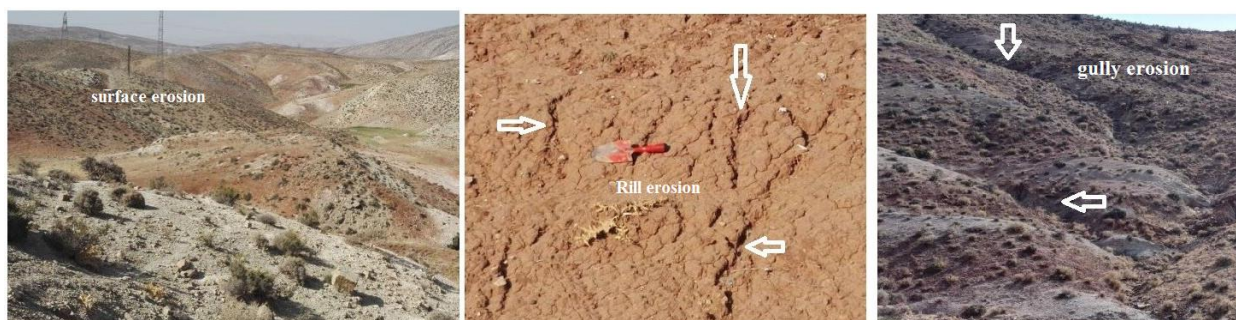
اهمیت رسوب زایی مارن های بررسی شده

دریاچه مهارلو به عنوان آبگیر پایانی آبخیز، به شدت تحت تأثیر رسوب گذاری مارن های موجود است. نرخ رسوب زایی این سازندها زیاد بوده و تا ۳۵۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شده است که باعث تسریع در پر شدن دریاچه و بروز مشکلات زیست محیطی می شود (ساریخانی و محمودزاده ۲۰۲۱). در این راستا، در یک بارش ۸۵ میلی متری که معمولاً در فصل زمستان در دو تا سه روز در آبخیز رخ می دهد، انتظار انتقال دو تا سه میلیون مترمکعب سیلاب و بیش از حدود ۴۰۰ هزار تن رسوب به دریاچه است. این اندازه، با توجه به ژرفای کم دریاچه (کمتر از ۲ متر حتی در زمان پرآبی)، تأثیر قابل توجهی بر بوم سازگان آن خواهد داشت. محاسبات نشان داد که این اندازه رسوب، در صورت توزیع



شکل ۳- شکل های فرسایش در مارن های آبخیز تنگ سرخ.

Figure 3- Erosional Forms in the Marls of the Tang-e-Sorkh Watershed.



شکل ۴- شکل‌های فرسایش در مارن‌های آبخیز بردکل.

Figure 4- Erosional Forms in the Marls of the Bard-e-Kal Watershed.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مشاهده شد که دلیل آن را می‌توان اندازه‌ی زیاد سدیم و اسیدی‌تر شدن مارن‌های این آبخیز در مقایسه با آبخیز بردکل دانست. افزایش کربنات موجب هم‌آوری دانه‌ها و افزایش اندازه‌ی آن‌ها شده و نقش مهمی در کاهش حرکت و شدت فرسایش دارند. تفاوت اندازه‌های بی‌کربنات، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته و ظرفیت تبادل یونی در خاک‌های مارنی در سه شکل فرسایش سطحی، شیاری و آب‌کندی (خندقی) از نظر آماری معنی‌دار بود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود برای موفقیت بیشتر طرح‌های اجرایی، در شرح خدمات پژوهش‌های آبخیزهای مارنی زاگرس، شناخت و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشخص‌شده در این پژوهش را می‌توان مطالبه کرد. رسوب‌گذاری شدید ناشی از مارن‌های آبخیز مهارلو سبب کاهش ژرفای دریاچه مهارلو، افزایش خطر خشکی و تغییرات زیست‌محیطی گسترده خواهد شد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در اجرای اقدامات حفاظتی و مدیریتی برای حفظ پایداری بوم‌سازگان تالاب، از تثبیت خاک، ساخت سدهای رسوب‌گیر و فناوری‌های نوین، استفاده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود در مدیریت مؤثر رسوب‌گذاری آبخیز مهارلو، از پوشش گیاهی مناسب و مالچ‌های زیست‌پذیر برای تثبیت خاک در مناطق مارنی استفاده شود. در این راستا، ساخت سدهای رسوب‌گیر و سازه‌های مهار فرسایش در مسیرهای سیلابی برای کاهش رسوب واردشده به دریاچه، به‌کارگیری فناوری‌های GIS و سنجش‌ازدور برای

نتایج این پژوهش محلی در دو آبخیز کوچک از آبخیز مهارلو نشان داد که در زمینه ویژگی مارن‌ها و تعمیم نتایج به‌دست آمده به دیگر مناطق باید دقت کرد و بهتر است در بررسی‌های آبخیزداری به پژوهش‌های محلی توجه بیشتری شود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های آبخیز مهارلو و سنگ‌شناسی آبخیز، نقش مؤثری در دو پدیده فرسایش و رسوب و مهار آنها دارند. در برنامه‌های حفاظت خاک و مهار فرسایش در مارن‌های آبخیز مهارلو، تعیین اندازه‌های یون‌های بی‌کربنات، کلسیم، سدیم و تعیین کربنات کلسیم معادل، گچ، اسیدیته، شوری، درصد شن و مجموع سیلت و رس، مهم است. افزون بر این، برای تعیین اولویت طرح‌های اجرایی در ارتباط با مهار شکل‌های فرسایشی و در نتیجه تعیین اولویت‌های مکانی تولید رسوب آبخیز نیز این اندازه‌ها، مهم هستند. از سوی دیگر، کنش و واکنش‌های این عوامل‌ها نیز مهم هستند. در این راستا، به‌عنوان مثال شوری عامل مهمی در ایجاد شکل‌های فرسایشی مارن‌ها است. اما، در شرایطی که اندازه‌های قابل‌توجهی از گچ وجود داشته باشد اهمیت و تأثیر شوری کاهش می‌یابد. در آبخیز بررسی‌شده، به‌دلیل وجود مارن‌های سازند گچساران، و افزایش اندازه‌ی گچ، شدت فرسایش کمتر تحت تأثیر شوری بود. اندازه‌ی زیاد سدیم و اسیدی بودن مارن‌ها، نیز از دیگر ویژگی‌های شیمیایی بودند که تعیین‌کننده شکل‌های گوناگون فرسایشی بودند. مثلاً در آبخیز تنگ‌سرخ بیشتر شکل‌های فرسایش سطحی و شیاری در مقایسه با آب‌کندی (خندقی)

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچگونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: طراحی مفهومی، روش‌شناسی، نگارش پیش‌نویس اولیه
نویسنده دوم: گردآوری داده‌ها، تحلیل نتایج
نویسنده سوم: بازبینی و تحلیل نتایج آزمایشگاهی
نویسنده چهارم: تحلیل‌های آماری
نویسنده پنجم: نظارت

شناسایی مناطق بحرانی و تدوین برنامه‌های جامع مدیریت منابع آب و خاک، طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریت جامع آبخیز، توصیه و پیشنهاد می‌شود. افزون بر این، ادامه پژوهش‌ها در زمینه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و آب‌شناختی مارن‌ها که می‌تواند به بهبود راهکارهای مدیریت رسوب‌گذاری و کاهش اثرات زیست‌محیطی آن کمک کند، توصیه می‌شود.

سپاس‌گذاری

این مقاله برپایه نتایج طرح پژوهشی با عنوان طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های استعداد فرسایش‌پذیری مارن‌ها در بخش غربی آبخیز مهارلو، تهیه شده است که با حمایت مالی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس انجام شد. این طرح در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با کد ۴۵۰-۲۹-۰۶-۹۵۰۴۳۴ تصویب شده است. از همکاری‌های اداره کل، مرکز و پژوهشکده نامبرده صمیمانه قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

- Abdinejad P, Feiznia S. 2021. Classification of marls of Zanjan province based on physicochemical characteristics and cluster analysis. *Earth Science Research*. 12(48):1-18. (In Persian).
- Ahmadi H. 1999. *Applied geomorphology*, volume 1 (water erosion), second edition, Tehran University Press. 688 p. (In Persian).
- Aboukarima, A. M. 2018. Effect of sodium adsorption ratio and electrical conductivity of applied water on infiltration in a sandy-loam soil. *Water SA*. 44(2): 250-258. <https://doi.org/10.4314/wsa.v44i1.12>
- Alamoudi OS, Khaqan K, Al-Kahtani NS. 2010. Stabilization of a Saudi calcareous marl soil, *Construction and Building Materials*. 24(10):1848-1854. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.019>
- Alavi F, Sharifi N. 2018. Water erosion management and determination of appropriate soil sampling depths in vulnerable areas. *Iranian Journal of Watershed Management*. 12(4): 45-55.
- Alison J, Modis J. 1965. Method for determining equivalent calcium carbonate in soils. *Soil Science*. 99(2): 107-112.
- Alizadeh A, Karami M. 2021. Soil Erosion and Sediment Transport in Marly Areas. *Journal of Soil Science*. 45(3): 67-80.
- Allison LE, Moodie CD. 1965. Carbonate in C.A. Black (ed). *Method of soil analysis*, Part II, Am Soc Agron, Madison, WI. pp. 1379-1396.
- Al-Khafaji TH, Al-Bassam SA. 2010. Stabilization of a Saudi calcareous marl soil. *Construction and Building Materials*. 24(10): 1848-1854. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.019>
- Amiri M, Salehian R. 2022. Microstructural evaluation of the effect of initial pH on geotechnical and geoenvironmental characteristics of Marl Soils. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 47, 36(2): 71-80. (In Persian).
- Azarafzaei M, Ghazifard A, Asghari Kaljah E. 2019. Geotechnical characteristics and empirical geo-engineering relations of the South

- Pars Zone marls, Iran. *Geomechanics and Engineering*. 19(5): 393-405. (In Persian).
<https://doi.org/10.12989/gae.2019.19.5.393>
- Bahadori H, Hasheminezhad A. 2019. Experimental study on Marl soil stabilization using natural pozzolans. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 31(2): 04018363.
- Bouma NA, Imeson AC. 2000. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at petrer. Spain, *Catena*. 40: 147-171.
- Chulmin J. 2011. A simple method to identify Marls soils, TRB 2011 Annual Meeting. At: Washington DC, USA, pp. 76-84.
- Cui J, Yuan X, Wu S, Zhang R. 2021. Rock types and reservoir characteristics of shahejie formation Marl in Shulu Sag, Jizhong Depression, Bohai Bay Basin. *Journal of Earth Science*. 32: 986-997.
- Egli M, Plotze M, Tikhomirov D, Kraut T. 2020. Soil development on sediments and evaporites of the Messinian crisis, *Catena*. 187, 104368.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104368>
- Ehyaie M, Behbahanizadeh A. 1997. Description of soil chemical analysis methods (Vol. 2). Soil and Water Research Institute, 2(1024). (In Persian). SID.
<https://sid.ir/paper/423062/fa>
- Elhowayek A, Bobet A, Dawood S, Ferdon A, Santagata M, Siddiki NZ. 2012. Classification of organic soils and classification of marls: Training of INDOT personnel. Publication FHWA/IN/JTRP-2012/22. Joint Transportation Research Program, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
<https://doi.org/10.12882843149845703/>
- Ettayeb M, Chaouni A, Cherifi H. 2023. Reuse of Taza marl-limestone in Morocco for road construction. *Materials Today: Proceedings*. 72(7): 3420-3426.
- FAO. 2020. Standard operating procedure for soil calcium carbonate equivalent: Titrimetric method. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. pp. 1-8.
- Feiznia S. 1995. Investigating the resistance of rocks in different climates of Iran. *Journal of Natural Resources*. 47(1): 95-116. (In Persian).
- Ghabezloo S. 2001. Improvement of mechanical properties of marl soil using pozzolans (Unpublished master's thesis). Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 130 p.
- Ghorbani H, Ahmadi R. 2016. The role of carbonate minerals in soil stability. *Environmental Geoscience*, 32(2): 123-135.
- Gutierrez M, Benito G. 1993. The influence of physico-chemical properties on erosion processes in badland areas, Ebro Basin, NE-Spain. *Z. Geomorph. N.F.* 37(2):199-214.
- Hasanzadeh Nofouti M, Feiznia S, Ghayumian, J, Ahmadi H, Peyrovan HR. 2006. Investigating characteristics affecting the erodibility of marls, A case study of Eivanaki Watershed (Saltwater). Ph.D. Thesis, Islamic Azad University-Science and Research Branch. 128 p. (In Persian).
- Heshmati M, Arifin A, Shamshuddi J, Ghaituri M. 2011. Factors affecting landslides occurrence in agro-ecological zones in the Merek Catchment, Iran. *Journal of Arid Environments*. 75(11):1072-1082.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.011>
- Heshmati M, Gheitury M, Chamah G. 2024. Erodibility and important plant species for its control on marl formations in Kermanshah Province. Management and Planning Organization of Kermanshah Province, Quarterly Journal of Progress and Development of Kermanshah Province. (3): 19-35. (In Persian).
- Hosseini F, Mahdavi M, Shayan A. 2020. pH and soil erosion susceptibility in arid regions. *Geoderma*. 357, 113974.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113974>
- Jafari R, Amini S, Mohammadi K. 2020. The role of gypsum and calcium carbonate in soil erosion processes: A case study in semi-arid regions of Iran. *Geoderma*. 376: 114555.
<https://doi.org/10.xxxx/geoderma.2020.114555>
- Jafari A, Sarmadian F, Rasaei Z. 2025. Uncertainty and spatial mapping of soil salinity and alkalinity using machine learning methods at three different management depths in the Abik Region. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. Advance online publication.
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.382783.669797>
- Jones D, Brown P. 2018. The effect of carbonates on clay aggregation. *Soil Processes and Land Degradation*, 22(4): 201-215.
<https://doi.org/10.1002/sld.1805>
- Kenny TC, Lau D, Ofoegbu GI. 1984. Permeability of compacted granular materials. *Canadian Geotechnical Journal*. 21(4): 726-729.
<https://doi.org/10.1139/t84-080>
- Khalili M. 2012. Investigating engineering geological characteristics of marl limestones of Abdraz Formation, Master's thesis, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. p.145.
- Khosrowshahi M, Ghahari GL, Seyed Akhlaghi J, Zandifar A, Hosseinimarandi H. 2021. Monitoring of climatic factors affecting the intensification of the phenomenon of dust and quicksand (wind erosion) in Iran, Iran's

Forests and Pastures Research Institute, (60892): 289 p.

Lamas F, Lamas-López F, Bravo R. 2014. Influence of carbonate content of marls used in dams: Geotechnical and statistical characterization. *Engineering Geology*. 177: 32–39.

<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.05.007>

Mesrar L, Benamar A, Jabrane R. 2020. Study of Taza's Miocene marl applications in heavy clay industry. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 79(6): 3019–3032. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01732-y>

Moradi H, Sadoddin A, Zare M. 2016. The influence of organic matter on soil erosion susceptibility: A review. *Environmental Earth Sciences*. 75(5): 429–438.

<https://doi.org/10.1007/s10064-020-01732-y>

Musavi SR, Sarmadian F, Omid M, Bogart P. 2021. Modeling depth changes of soil equivalent calcium carbonate using machine learning algorithms in Qazvin Plain. *Journal of Water and Soil*. 35(5):719–734. (In Persian).

Neamati J. 1993. Investigating ditch erosion in the Gap watershed. Master's thesis in watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 143 p. (In Persian).

Norouzi S, Sohrabi A, Khavazi K, Matinfar HR. 2018. The effect of sulfur application on pH changes and phosphorus availability in wheat (*Triticum aestivum* L.) soil. *Soil Biology*. 6(1):29–41.

<https://doi.org/10.22092/sbj.2018.117145>

Parsadust F, Jaberalansa Z, Borhani, M. 2022. Investigating the vegetation characteristics of plant species that are compatible with protecting Marl Soil in Kashan, Desert Management. 5(9): 1072–1082. (In Persian).

Pettijohn FJ. 1975. *Sedimentary Rocks*. 3rd Edition, Harper and Row, New York. 628 p.

Pourheydari S, Ahmadi H, Moeini A, Jafari M, Feiznia S. 2020. Investigating the effect of Marl's physical and chemical properties on the amount and forms of erosion (Case study: Aoun Ibn Ali – Tabriz's Sorkhab), *Journal of Range and Watershed Management*. 73(3): 473–487. <https://sid.ir/paper/392645/en>

Rahimi M, Amini M, Vali M. 2017. The role of bicarbonate in soil erosion forms. *Iranian Journal of Soil Research*. 29(1): 45–58. <https://doi.org/10.22059/ijsr.2017.669797>

Rahmani A, Karami A, Ghorbani M. 2015. Geology and soil erosion variability in marly formations. *Journal of Environmental Management*. 150: 234–245.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.029>

Raini I, Hicham C, Elqandil M. 2023. Marl Soil improvement using recycled concrete aggregates from concrete pipes factory, *Journal of Ecological Engineering*. 24(10):13–29. <https://doi.org/10.2299899312911/169504>

Rezaie K. 2015. Classification and determination of erodibility indices of marls in the southeast of Pishva, Varamin using a rain simulator, *Geographical Studies of Dry Areas*, 7th period, 26th issue. pp. 38–53. (In Persian).

Rezaie K. 2016. Study of effects of physical and chemical properties of marls on erosion and sediment production of them using rainfall simulator in Lotshour-Pakdasht area. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 3(3): 21–40.

Rienks SM, Botha GA, Hughes JC. 2000. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a Gully (Donga) in Northern KwaZulu -Natal, South Africa and their Relationship to the Erodibility of the Colluvial Layers. *Catena*. 39: 11–31.

Salmasi R, Ahmadi A. 2012. The relationship between geological characteristics of marls and different forms of erosion in the Tarche River Watershed. *Geography and Environment*. 3: 11–23.

Salmasi R, Peyrowan H. 2011. Investigating the relationship between the physical and chemical characteristics of erosion-sensitive marl of the Talcheh River watershed with different forms of erosion. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 4(3): 169–160.

Saidian H, Moradi H, Feiznia S, Bahramifar N. 2014. The role of the main directions of the range on some physical and chemical properties of the soil, case study: Gachsaran and Aghajari formations of Kooch Gach Watershed, Izeh City, *Watershed Management Research Journal*. 5(9):64–77. (In Persian).

Sarikhani S, Mahmoudzadeh A. 2021. Estimation of soil erosion and sediment yield in Iran using the EPM model and validation with observational data. *Soil Research Journal*. 35(4): 215–230.

https://srj.asnr.ias.ac.ir/article_140574.html

Smith J, Nguyen T, Roberts P. 2020. Relationship between clay content and carbonate equivalence in soils. *Soil Science Journal*. 89(1): 56–70.

<https://doi.org/10.1007/s00374-019-01338-2>

Sokouti oskuie R, Peyrowan HR, Nikami D, Mahdian MH. 2014. Investigation on erodibility and soil loss of Marly driven soils in west Azarbaijan Province, Iran. *Watershed Engineering and Management*. 7(4): 379–388. (In Persian).

Suri M, Abdinjad P. 2020. Investigating forms of erosion and their physicochemical characteristics in marl soils of Zanjanrud Watershed. Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management. 21(3): 874-864.

Talebi A, Pirovan HR, Charkhabi A, Hashemi SA. 2013. Evaluating effective factors in erosion and sediment yield in Marl lithology by rain simulator: (Case study, Hablehroud Basin in Semnan Province). Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources. 16(62):13-23.

USDA. 2020. *Soil Survey Manual* (Handbook 18). U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.

Wen Y, Kaselke T, Li H, Zepp H, Zhang B. 2021. A case-study on history and rates of gully erosion in Northeast China, Land Degredation and Development. 32(15): 4254-4266. <https://doi.org/10.1002/ldr.4031>

Wischmeier WH, Smith D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning (Agriculture Handbook No. 537). U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA. 58 p.

Yang RN, Ouhadi VR. 2007. Experimental Study on Instability of Bases on Natural and Lime/Cement-Stabilized Clayey Soils. Applied Clay Science. (35): 238-249. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.08.009>

Yousefi mobarhan E, Peyrowan, H. 2022. Investigating the sustainability and interactive effects of physical-chemical properties of erosion-sensitive Marl and rangeland vegetation in arid and semiarid Areas (Case study: Shahrood Town). Geography and Environmental Sustainability. (12): 57-74.

Zarei N, Nouri M, Alizadeh A. 2019. Calcium carbonate and soil erosion forms. Geotechnical Soil Research. 41(2): 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.jgeoe.2019.02.003>



Investigation of the Physicochemical Properties of Marls in the Western Maharlu Watershed and Their Effects on Erosion and Soil Conservation

Hamid Hosseinimarandi ^{1*}, Seyed Masoud Soleimanpour ², Maryam Enayati ³

Abolhassan Moghimi ⁴, Hamid Reza Peyrowan ⁵

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

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

3- M.Sc., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

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

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

Extended Abstract

Introduction and Goal

Marl are porous rocks (with a porosity of 73% to 95%). Marl formations are highly sedimentary, and the different physical and chemical properties of marls affect the intensity and type of erosion. The form and intensity of water erosion are strongly influenced by changes in soil texture. Based on the results of previous research, the greatest correlation between marls and erosion intensity is related to their physical and chemical factors (particle distribution, especially sand particles). As the size of sand increases compared to silt and clay particles, gully erosion will also increase. The clay ratio index is decisive in the occurrence of gully erosion and the runoff volume index is decisive in the occurrence of surface and gully erosion of marls. On the other hand, there are significant differences in the measurements of sodium, magnesium, organic carbon content, pH, and SAR in the surface erosion, rill, and badland forms of marls. Marl soils are evolving materials whose inherent properties can be enhanced with additives and their use can be made possible. The establishment of vegetation on marls is also an important point, and the percentage of clay and gypsum in marls is closely related to the establishment of plants on marl soils.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** hhmarand@gmail.com

Citation: Hosseinimarandi, H., Soleimanpour, S. M., Enayati, M., Moghimi, A., Peyrowan, H. R. 2026. Investigation of the Physicochemical Properties of Marls in the Western Maharlu Watershed and Their Effects on Erosion and Soil Conservation. Watershed Management Research. 38(4): 88-107.

DOI :10.22092/wmrj.2025.368766.1618

Received: 02 March 2025, **Received in revised form:**19 March 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol.38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp. 88-107.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Thus, marls pose significant issues and problems related to use stabilization, construction, erosion, and sedimentation. Marl formations are widely distributed in the Maharlu watershed in Fars Province, indicating the watershed's high potential for erosion and sediment production, and understanding the characteristics of watershed marls is useful for use in soil conservation programs.

Materials and Methods

The Tang-e Sorkh and Bard-e-Kal watersheds, with an area of 500 hectares, are part of the Maharlu watershed and are located west of Shiraz. Almost the entire surface of these sub-watersheds is covered by the Gachsaran geological formation. Using geological map, topographic, slope and other available documentation, and observing erosional forms in the field, 11 marl soil samples were collected from a depth of 0–30 cm in three slope classes (less than 5%, 5 to 10%, and 10 to 20%). The electrical conductivity of the saturation soil extract (ECe), the acidity of the saturated soil mud (pH), the amount of calcium, magnesium, sodium, carbonate, chloride, bicarbonate, and organic carbon, cation exchange capacity, gypsum content, and the amount of equivalent calcium carbonate were measured. Analysis of physical and chemical properties of soil was performed based on the method of the Soil and Water Research Institute. Soil particle size was determined by hydrometer method, and soil texture was classified according to the USDA (United States Department of Agriculture classification) system. Statistical analysis of the data and determination of the effect of variables on the type of erosion were performed using the t-test with two independent populations. In addition, analysis of variance, principal factor analysis, and comparison of means were performed using Duncan's test (using SPSS statistical software).

Results and Discussion

The difference in the amount of equivalent calcium carbonate in the Tang-e Sorkh and Bard-e-Kal, regions was significant at the one percent level, and its amount in Tang-e Sorkh was much greater than in Bard-e-Kal. The difference in sand size was significant at the five percent level, with its size being greater in Bard-e-Kal than in Tang-e Sorkh. In the marls of the two sub-watersheds, the difference in acidity (pH) was significant at the one percent level, and it was higher in Tang-e Sorkh than in Bard-e-Kal. The sulfate content of Bard-e-Kal marls was much higher than in Tang-Sorkh, and this difference was significant at the five percent level. The amount of bicarbonate in the Bard-e-Kal marls was greater than in the Tang-e Sorkh, and this difference was significant at the five percent level. The different in the amount of equivalent calcium carbonate, gypsum, acidity, and calcium of marls in various erosional forms were significant at the five and one percent levels. Between the two regions in gully-eroded marls, the difference in ion exchange capacity and acidity was significant. The measurements of acidity, equivalent calcium carbonate, sodium ion, and clay percentage in Tang-Sorkh marls were higher than in Bard-e-Kal, and in other variables, the measurements were higher in Bard-e-Kal. In the two hydrological units studied, the highest and lowest organic carbon levels were observed in rill and surface erosion, respectively. In addition, the highest and lowest moisture content was observed in surface and rill erosion, respectively. The size of bicarbonate was also higher in rill erosion than other erosion forms. Determining the size of factors such as bicarbonate, equivalent calcium carbonate, gypsum, acidity and calcium ion, percentage of sand and total silt and clay were helpful in the occurrence of erosion forms. In the marls of the region, the high sodium absorption ratio (SAR) can lead to a greater dominance of surface and rill erosion compared to gully erosion. In the marls of the Gachsaran Formation, salinity was probably affected by the increase in gypsum size, and its role in intensifying erosion was reduced. The presence of more calcium carbonate in the Tang-e Sorkh watershed marls made them more stable, which was due to the greater inhibition of the effect of salinity and sodium. The percentage of water absorption of Tang-e Sorkh marls was higher compared to the Bard-e-Kal marls. Therefore, the ability of mass-type erosion movements was also higher in Tang-e Sorkh marls.

Conclusion and Suggestions

The results of this study showed that due to the characteristics of marls in the Maharlou watershed and their effective role on erosion and sedimentation special attention should be paid to them in local research. In this watershed, identifying the physical and chemical properties of marls, such as bicarbonate ions, calcium, sodium, salinity, and percentage of sand and clay, is important for controlling erosion and sediment deposition. As a result, for greater success of implementation plans in watershed management research, it is also necessary to pay attention to the role of characteristics such as chalk size in reducing salinity and the effect of acidity on the type of erosion. Based on the results of this study, it is suggested that for sedimentation management in the Maharlou watershed, vegetation cover and viable mulches should be used to stabilize the soil and sediment dams should be constructed. It is also suggested that GIS and remote sensing technologies be used to identify critical areas and develop water and soil resource management plans.

Keywords: Cation exchange capacity (CEC), gully erosion, marl sediment yield, vegetation cover and soil stabilization, watershed management

Article Type: Research Article

Acknowledgement

This paper is based on the results of the project ‘Classification and Determination of Erosion Susceptibility Indices of Marls in the Western Region of the Maharlou Watershed,’ which was funded by the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province. This project was approved at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars and the Soil and Water Conservation Research Institute with code 950434-006-29-50-4. We sincerely appreciate the collaboration of the mentioned General Directorate, Center, and Research Institute.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that there are no conflicts of interest regarding the writing and publication of the materials and findings of this research.

Data Availability Statement

The data and results used in this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Authors’ Contribution

Author 1: Conceptualization, methodology, writing original draft preparation

Author 2: Data collection, results analysis

Author 3: Review and analysis of laboratory results

Author 4: Statistical analyses

Author 5: Supervision



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌نخرداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مرکز تحقیقات آموزش و پژوهش کشاورزی

پیش‌بینی مکانی استعداد سیل‌گیری آبخیز زرينه‌رود با استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده

فرنوش محمدی^{۱*}، عارف بهمنی^۲

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- معاون آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان، سنندج، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

سیلاب‌ها هرساله سبب خسارت‌های مالی و تلفات جانی پرشماری بوده و تأثیر نابودگری بر توسعه پایدار کشور دارند. با این وجود، عموماً رخدادهای واقعی سیل‌گیری در تحلیل‌های مکانی و مدل‌سازی استفاده‌نشده و نقشه‌های استعداد سیل‌گیری صرفاً براساس دیدگاه کارشناسی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تهیه شده‌اند. از سوی دیگر، برنامه‌های مدیریتی و اقدامات دستگاه‌های اجرایی معمولاً بدون توجه به پهنه‌های مختلف استعداد سیل‌گیری آبخیزها تدوین می‌شوند. این پژوهش، با هدف بهره‌گیری از داده‌های مشاهده‌ای رخدادهای سیل‌گیری و تعیین کارایی مدل نابو بیز در زمینه پیش‌بینی مکانی استعداد سیل‌گیری در آبخیز زرينه‌رود انجام شد.

مواد و روش‌ها

پایگاه داده رخدادهای سیل‌گیری، براساس اطلاعات رخدادهای سیل در آبخیز زرينه‌رود که به‌وسیله دفتر مدیریت بحران استانداری و شرکت آب منطقه‌ای ثبت‌شده بود، تهیه شد. با توجه به اینکه عامل‌های محیطی مختلفی در شکل‌گیری سیل و آب‌گرفتگی زمین مجاور رودها نقش دارند، بدون درنظر گرفتن آن‌ها، مدل‌سازی سیل امکان‌پذیر نیست. از این‌رو، بعد از بررسی منابع مختلف، سیزده عامل محیطی مؤثر بر سیل‌گیری شامل بلندی زمین، جهت دامنه، تراکم زهکشی، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، انحنای سطح، انحنای مقطع، میانگین سالانه بارندگی، درصد شیب، بافت خاک، شاخص توان جریان، فاصله از آبراهه و شاخص رطوبت پستی‌بلندی انتخاب شدند. وضعیت هم‌خطی چندگانه عامل‌های محیطی با استفاده از آماره عامل تحمل بررسی شد. لایه‌های رستری عامل‌های محیطی به‌عنوان متغیرهای مستقل به مدل یادگیری ماشینی بیز ساده معرفی شدند.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: farnoushmohammadi@ut.ac.ir

استناد: محمدی، ف.، بهمنی، ع. ۱۴۰۴. پیش‌بینی مکانی استعداد سیل‌گیری آبخیز زرينه‌رود با استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۴): ۱۲۷-۱۰۸.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.369572.1623

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴ دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۰۸ تا ۱۲۷.

© نویسنده‌گان

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



نقاط موقعیت‌های رخداد سیل‌گیری براساس روش تصادفی مکانی، با نسبت سی درصد و هفتاد درصد به دو گروه آموزش و اعتبارسنجی تقسیم شد. پس از اجرای مدل، نقشه استعداد سیل آبخیز زرينه‌رود تولید شد؛ به گونه‌ای که هر سلول نشان‌دهنده احتمال سیل‌گیری در آن محدوده بود. دقت نقشه استعداد سیل‌گیری با استفاده از آماره‌های مستقل و وابسته به آستانه و داده‌های گروه اعتبارسنجی ارزیابی شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج این پژوهش، متغیرهای مستقل مد نظر بدون هم‌خطی چندگانه بودند و به‌عنوان عامل‌های پیش‌بینی‌کننده در فرایند مدل‌سازی قابل استفاده بودند. نتایج اعتبارسنجی براساس آماره مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد گیرنده نشان داد که دقت نقشه استعداد سیل‌گیری ۹۳/۶٪ بود. بر پایه آماره‌های وابسته به آستانه کارایی مدل یادگیری ماشینی بیز ساده براساس آماره Accuracy ۸۵/۷٪، براساس آماره Precision ۸۲/۶٪ و براساس آماره Recall ۹۰/۴٪ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کارایی مدل یادگیری ماشینی بیز ساده برای پیش‌بینی مکانی استعداد سیل‌گیری در مقیاس آبخیز مناسب بود و می‌توان از متغیرهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل مکانی بهره برد. نقشه استعداد سیل‌گیری باید به‌عنوان مبنای برنامه‌ریزی عملیات سامان‌دهی رود (مانند ساخت دیوار ساحلی و لایه‌روبی بستر)، مدیریت سیل (مانند رعایت حریم رودها) و آبخیزداری (مانند ساخت سازه‌های آبخیزداری در بالادست مناطق مستعد سیل‌گیری) در آبخیز زرينه‌رود، مد نظر باشد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود از این مدل برای تهیه نقشه استعداد سیل‌گیری براساس داده‌های سیلاب‌های تاریخی در دیگر آبخیزهای کشور استفاده شود.

واژگان کلیدی

استان کردستان، تجزیه و تحلیل مکانی، سیل، مدل‌سازی، مدیریت بحران

مقدمه

به‌وجود آورد که خسارت‌های آن ۳۶۵۰ میلیارد ریال برآورد شد (خبرگزاری جمهوری اسلامی، کد خبر ۸۳۲۹۵۱۱۵). از این‌رو، پژوهش علمی پدیده سیل‌گیری^۱، شناسایی مناطق پرخطر و ارائه راهکارهای مدیریتی و پیشگیرانه، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در مسیر توسعه پایدار و کاهش خسارت‌های مالی و تلفات جانی ناشی از این مخاطره طبیعی است. سیل‌گیری زمانی رخ می‌دهد که ظرفیت مجرای رود از آب پر شده و جریان آب به دشت سیلابی وارد شود.

شناسایی پهنه‌های مستعد بلایای طبیعی در یک آبخیز یکی از گام‌های اساسی در مهار مخاطره‌های طبیعی و تدوین برنامه‌های مدیریت جامع آبخیزهای آبخیز است (تاپا و همکاران ۲۰۲۲). تعیین پهنه‌های

سیل یکی از ویران‌گرترین و شایع‌ترین مخاطره‌های طبیعی در سراسر جهان به‌شمار می‌آید که همه‌ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌ها، منابع طبیعی، زمین کشاورزی و زندگی انسان‌ها وارد می‌کند. کشور ایران نیز به‌دلیل شرایط خاص اقلیمی، پستی‌بلندی ناهمگون، پراکنش نامتوازن زمانی-مکانی بارندگی و همچنین ویرانی پوشش گیاهی و دخالت‌های انسانی مانند تغییر کاربری زمین، رخدادهای سیل مہیبی را تجربه کرده است (رجبی‌زاده و همکاران ۲۰۱۹). افزایش فراوانی و شدت رخداد سیلاب‌ها در دهه پیشین نه فقط تهدیدی جدی برای پایداری محیط‌زیست به‌شمار می‌آید، بلکه هزینه‌های هنگفتی نیز بر اقتصاد کشور تحمیل می‌کند (براتی و همکاران ۲۰۱۲). به‌عنوان مثال، بارش‌های فروردین ۱۳۹۸ در استان کردستان، سیلاب‌های پرشماری

1- Flood inundation

شد. نتایج این پژوهش نشان داد دقت مدل جنگل تصادفی بیشتر بود. عرب‌عامری و همکاران (۲۰۲۲) در آبخیز کیسر استان مازندران برای شناسایی مناطق مستعد سیل‌گیری از مدل ماشین بردار پشتیبان^۸ استفاده کردند و دریافتند استفاده از روش‌های فراکاوشی^۹ برای واسنجی مدل می‌تواند مفید باشد. سلیم و همکاران (۲۰۲۲) برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری شهر برلین آلمان، عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان را مقایسه کردند. نتایج ایشان نشان داد که قابلیت مدل‌های بررسی‌شده در تجزیه و تحلیل مناطق مستعد سیل‌گیری زیاد بود. بنابراین، می‌توان گفت با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیچیده می‌توان، توزیع احتمالاتی برای استخراج الگوی پنهان داده‌ها و روابط میان متغیرهای مستقل و وابسته را کشف و برآورد کرد (سیاه‌کمری و همکاران ۲۰۱۸).

مدل‌های یادگیری ماشینی در پژوهش‌های داخلی و خارجی در زمینه ارزیابی و پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری به‌کار گرفته شده‌اند. اگرچه عموماً این مدل‌ها در کشف روابط غیرخطی میان متغیرها و شناسایی مناطق مستعد سیل‌گیری، کارایی زیادی دارند، اما آنچه که باعث تنوع عملکرد آنها می‌شود ساختار و معماری مختلف مدل‌ها است. از سوی دیگر، عامل‌هایی مانند تعداد کم داده‌های رخداد سیل‌گیری می‌تواند بر عملکرد مدل‌ها تأثیرگذار باشد و اندازه کارایی مدل در این شرایط باید بررسی شود. مدل یادگیری ماشینی بیز ساده^{۱۰} (NB) یکی از مدل‌های یادگیری ماشینی است که در پژوهش‌های پیش‌بینی سیل در خارج از کشور استفاده شده است. چن و همکاران (۲۰۲۰) در منطقه کوانان کشور چین، فم و همکاران (۲۰۲۰) در کشور ویتنام و وانگ و همکاران (۲۰۲۱) در شهر زنگشو کشور چین برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده استفاده کردند و نتایج قابل قبولی به‌دست آمد. در

سیل‌گیر با استفاده از روش‌های نوین تحلیل مکانی و رویکردهای مختلف مدل‌سازی، این امکان را فراهم می‌آورد تا تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان دستگاه‌های اجرایی مرتبط با سیل بتوانند برای پیشگیری، مهار و آمادگی در برابر رخداد‌های احتمالی سیل تصمیم‌های مناسبی بگیرند (کی و همکاران ۲۰۲۱). بدون آگاهی از پهنه‌های خطر سیل‌گیری در یک آبخیز، برنامه‌ریزی در زمینه تعیین حریم رودها و تخصیص منابع به‌طور غیربهرینه بوده و حتی توسعه شهری و زیرساخت‌ها گاهی اوقات در مناطق پرخطر انجام خواهد شد (خواجهنژاد و همکاران ۲۰۲۴). از این‌رو، ارزیابی دقیق خطرپذیری سیل و تهیه نقشه‌های استعداد سیل‌گیری در مقیاس‌های مختلف محلی، منطقه‌ای و ملی، نقش مهمی در مدیریت بحران، کاهش خسارت‌های جانی و مالی، افزایش تاب‌آوری جامعه‌های و دستیابی به توسعه پایدار دارد.

پژوهشگران برای تهیه نقشه استعداد سیل‌گیری از رویکردهای مختلف مدل‌سازی مانند مدل‌های آماری، داده‌کاوی و یادگیری ماشینی مختلفی استفاده کرده‌اند (سامان‌تا و پالسمان‌تا ۲۰۱۸؛ معظم و همکاران ۲۰۲۰). در این راستا، تهرانی و کومار (۲۰۱۸) برای پیش‌بینی استعداد سیل منطقه‌ای در بریزبن کشور استرالیا از داده‌های مشاهده‌ای رخداد سیل‌گیری و مدل‌های تابع شواهد قطعی^۲، نسبت فراوانی^۳ و وایازی لجستیک^۴ استفاده کردند. دمیسی و همکاران (۲۰۲۴) در منطقه‌ای در ایالت کانزاس آمریکا، کارایی مدل‌های یادگیری ماشینی مختلفی در زمینه پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد دقت مدل‌های جنگل تصادفی^۵ و تقویت شیب شدید^۶، بیشتر بود. در پژوهشی در کشور رومانی، عابدی و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی، درخت وایازی تقویت‌شده^۷ و تقویت شیب شدید، نقشه استعداد سیل‌گیری تولید

2- Evidential belief function

3- Frequency ratio

4- Logistic regression

5- Random Forest

6- Extreme gradient boosting

7- Boosted regression trees

8- Support vector machine

9- Meta-heuristic

10- Naive Bayes

نقشه می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی برای عملیات آبخیزداری و مدیریت سیل باشد.

مواد و روش‌ها

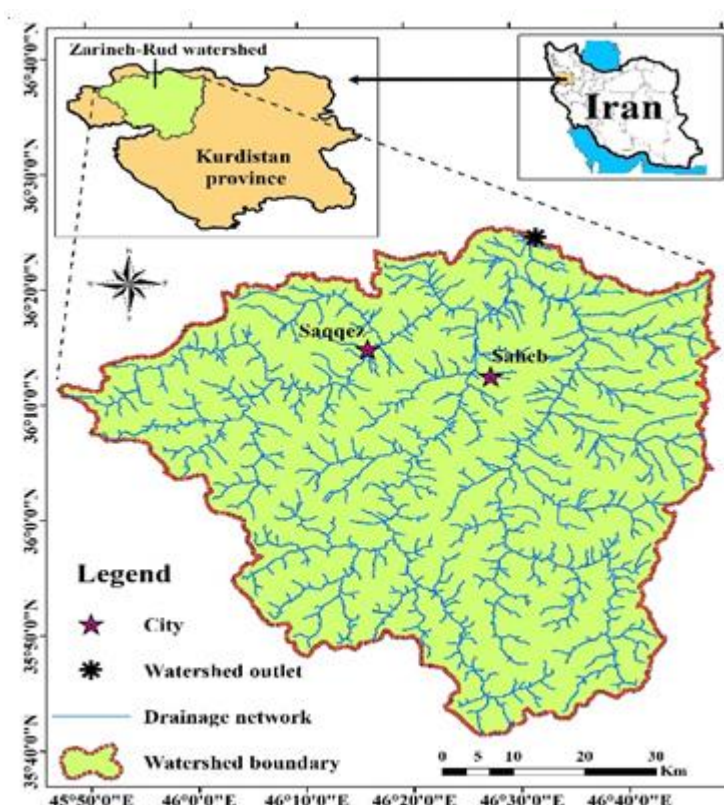
معرفی منطقه پژوهش‌شده

محدوده جغرافیایی آبخیز زرینه‌رود در استان کردستان در شمال غرب ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. آبخیز زرینه‌رود میان طول‌های جغرافیایی $46^{\circ} 46'$ تا $46^{\circ} 48'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 42'$ تا $36^{\circ} 23'$ شمالی است. این آبخیز که در بخش شمالی استان است، شامل مناطق کوهستانی و ناهموار بوده و مساحت آن ۴۴۸۵ کیلومتر مربع است. آبخیز زرینه‌رود شبکه‌ای گسترده از آبراهه‌ها و رودها دارد و آب از بخش‌های جنوبی به سمت بخش‌های شمالی جریان دارد.

ایران، حبیبی و همکاران (۲۰۲۳) برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری آبخیز سرداب‌رود استان مازندران از مدل بیز ساده استفاده کردند. با این وجود، به دلیل اطلاعات کم در زمینه کاربرد مدل بیز ساده در پژوهش سیل در بخش‌های مختلف کشور، ارزیابی کارایی این مدل در زمینه پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری در کشور ایران نیازمند پژوهش‌های بیشتری است.

آبخیز زرینه‌رود در استان کردستان یکی از مناطق مستعد سیل در کشور است که در دهه پیشین سیلاب‌ها، خسارت‌های مالی و تلفات جانی زیادی در این آبخیز به همراه داشته‌اند (اعلمی و همکاران ۲۰۲۴؛ چوبین و همکاران ۲۰۲۵).

از این رو، این پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد مدل یادگیری ماشینی بیز ساده در زمینه پیش‌بینی مکانی سیل‌گیری و تولید نقشه استعداد سیل‌گیری در آبخیز زرینه‌رود، اجرا شد. پس از تأیید علمی و فنی نقشه استعداد سیل‌گیری به دست آمده از مدل‌سازی، این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز زرینه‌رود.

Figure 1- Geographical location of the Zarineh-Rud Watershed.

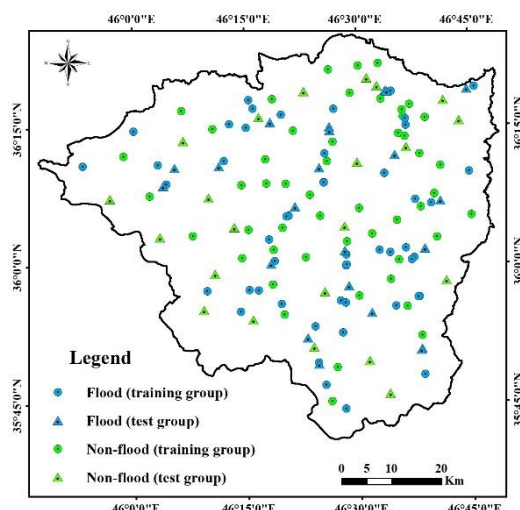
این آبخیز، دو شهر اصلی سقز و صاحب و روستاهای پرشماری دارد. خروجی اصلی این آبخیز در بخش شمال‌شرقی آبخیز است، جایی که جریان‌های سطحی به سمت دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی هدایت می‌شوند. در دهه پیشین رخدادهای سیلابی بزرگی در آبخیز زرينه رخ داده است که گاهاً منجر به خسارت‌های مالی شدیدی شده است. در این راستا، یک رخداد بارش در تیرماه ۱۳۹۴، سبب خسارت‌های زیادی به اماکن مسکونی، تجاری و اداری شهر سقز در استان کردستان شد که اندازه آن ۲۱۰ میلیارد ریال برآورد شد (خبرگزاری جمهوری اسلامی، کد خبر ۸۱۶۹۰۰۴۳). براساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، این آبخیز در پهنه نیمه‌مرطوب است. از این‌رو، تابستان‌های این آبخیز معتدل و زمستان‌های آن سرد است. در برخی سال‌ها، حتی در اواخر فصل بهار و اوایل فصل تابستان بارش‌های سیل‌آسا به شکل تگرگ رخ داده که منجر به جاری شدن سریع رواناب و شکل‌گیری سیلاب شده است. مثلاً در تیرماه ۱۳۹۴ یک سیلاب مهیب در آبخیز رخ داد و سبب خسارت‌هایی در محدوده شهر سقز به اماکن مسکونی و تجاری شد (حسینی و همکاران ۲۰۲۱).

روش پژوهش

جمع‌آوری داده‌های سیل‌گیری

جمع‌آوری اطلاعات و ثبت داده‌ها اهمیت بسیار زیادی دارد. در این پژوهش، شواهد زمینی رخداد سیل‌گیری مهم‌ترین داده لازم برای آموزش مدل بود. داده‌های مکانی موقعیت رخداد سیل‌گیری به‌عنوان متغیر وابسته (متغیر هدف) به مدل معرفی شد. مشخصات سیل از با ارزش‌ترین اطلاعات تاریخی یک آبخیز به‌شمار می‌آید و دستگاه‌های اجرایی سعی بر ثبت آن‌ها داشته‌اند. موقعیت جغرافیایی کلیه رخدادهای

سیل‌گیری ثبت‌شده در بانک‌های اطلاعات اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، شرکت آب منطقه‌ای، اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، دفتر مدیریت بحران استانداری و جمعیت هلال احمر استان کردستان ثبت‌شده بودند، که برای انجام این پژوهش جمع‌آوری شدند. سپس، صحت داده‌های موقعیت سیل‌گیری در بازدیدهای میدانی و مصاحبه با افراد بومی بررسی شد. براساس تحلیل‌های انجام‌شده، مجموعاً ۷۲ موقعیت رخداد تاریخی سیل‌گیری در آبخیز زرينه‌رود ثبت‌شده بود، که در این پژوهش استفاده شد. از آنجایی که اجرای مدل‌های یادگیری ماشینی عموماً نیازمند داده‌های رخداد و نبود رخداد سیل هستند، براساس تحلیل‌های کارشناسی، ۷۲ موقعیت نبود رخداد سیل‌گیری شناسایی شد که از دیدگاه علمی احتمال سیل‌گیری آن‌ها بسیار کم بود. به دلیل اینکه مدل‌سازی نیازمند دو گروه داده شامل آموزش و اعتبارسنجی است، داده‌های رخداد و نبود رخداد سیل به شکل تصادفی به دو گروه آموزش و اعتبارسنجی تقسیم شدند. گروه آموزش شامل ۷۰٪ از مجموعه داده‌های رخداد و نبود رخداد سیل بود که برای شناسایی روابط میان متغیرها و همچنین الگوی پیش‌بینی مدل، استفاده شد (چاودوری و همکاران ۲۰۲۵). از سوی دیگر، داده‌های گروه اعتبارسنجی در مرحله آموزش استفاده نشدند و صرفاً پس از پایان فرایند مدل‌سازی و تولید نقشه استعداد سیل، به‌منظور تعیین دقت مدل به‌کارگرفته شد. نتایج مدل‌سازی و خروجی مدل بدون تایید آماره‌های ارزیابی در مرحله اعتبارسنجی، بدون اعتبار می‌باشند (تراوره و همکاران ۲۰۲۴). موقعیت داده‌های گروه آموزش و گروه اعتبارسنجی به تفکیک نقاط رخداد و نبود رخداد سیل در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- موقعیت رخداد های سیل گیری در آبخیز زرینه رود.

Figure 2- Location of the flood inundation events in Zarineh-Rud Watershed.

وجود داشته باشد. مدل سازی استعداد سیل گیری در شرایط وجود هم خطی چندگانه صحیح نبوده و بر عملکرد مدل تأثیرگذار است (چان و همکاران ۲۰۲۲). بنابراین، بررسی این موضوع میان متغیرهای مستقل قبل از اجرای مدل، ضروری است. در این پژوهش از عامل تحمل^{۱۲} برای تعیین هم خطی چندگانه استفاده شد. آماره عامل تحمل با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (سلیمان و همکاران ۲۰۲۱).

$$TOL = R_{ij}^2 - 1 \quad (1)$$

TOL: آماره عامل تحمل، R_{ij}^2 ضریب تعیین دو متغیر i و j است.

هنگامی که اندازه آماره عامل تحمل کمتر از ۰/۱ باشد، مشکل هم خطی چندگانه در میان متغیرهای مستقل وجود دارد (دوتا و دکا ۲۰۲۴). در این شرایط، از میان متغیرهایی که همبستگی زیادی با یکدیگر داشتند، فقط یکی از آن‌ها برای مدل سازی انتخاب شد.

مدل یادگیری ماشینی بیز ساده

مدل بیز ساده^{۱۳} (NB) یکی از مدل های پرکاربرد یادگیری ماشینی است که در سال های پیشین پژوهشگران برای حل مسائل طبقه بندی در علوم

انتخاب عامل های محیطی مؤثر بر رخداد سیل گیری عامل های محیطی مختلف پستی بلندی، آب شناختی، زمین ریخت شناختی، کاربری زمین، پوشش گیاهی، خاک شناسی و زمین شناسی بر رخداد سیل تأثیرگذارند (رحمتی و همکاران ۲۰۲۰؛ ویدیا و همکاران ۲۰۲۴). در این پژوهش، تعداد ۱۳ عامل محیطی مؤثر بر سیل گیری شامل بلندی، انحنای سطح، انحنای مقطع، شاخص موقعیت پستی بلندی، موقعیت شیب نسبی، اندازه شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت پستی بلندی، شاخص توان جریان، میانگین سالانه بارندگی، فاصله از جریان، تراکم زهکشی، سنگ شناسی، بافت خاک، کاربری زمین انتخاب شدند. رابطه میان عامل ها با فرایند شکل گیری سیل معنی دار بود و تغییرات مکانی هر یک از آن‌ها در این آبخیز زیاد بود (چن و همکاران ۲۰۲۱). هنگامی که تغییرات عامل های محیطی کم و از دیدگاه فضایی یکنواخت باشند، اطلاعات زیادی برای مدل فراهم نشده و نمی توان با استفاده از آن مناطق مستعد سیل گیری از دیگر مناطق را تفکیک کرد.

بررسی هم خطی چندگانه عامل های محیطی

هم خطی چندگانه^{۱۱}، هنگامی رخ می دهد که میان عامل های محیطی (متغیرهای مستقل) همبستگی

12- Tolerance
13- Naive Bayes

11- Multicollinearity

آبی در آن‌ها امکان‌پذیر نیست. افزون بر این، برخی از مدل‌های یادگیری ماشینی نیازمند داده‌های زیادی برای آموزش هستند که کاربرد آن‌ها نیز محدودیت زیادی دارد. در این پژوهش، استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری یک آبخیز امکان‌سنجی شد و کارایی آن از دیدگاه معیارهای آماری ارزیابی و کاوش شد.

اعتبارسنجی نتایج مدل

در این پژوهش، از آماره‌های مختلف مستقل از آستانه^{۱۸} و وابسته به آستانه^{۱۹} برای ارزیابی قابلیت پیش‌بینی و عملکرد مدل استفاده شد. آماره‌های مستقل از آستانه به‌عنوان نمایه‌های اصلی تعیین عملکرد مدل مطرح شدند و آماره‌های وابسته به آستانه برای اطمینان بیشتر از کارایی مدل و یا دستیابی به جزئیات بیشتر در زمینه عملکرد مدل استفاده شدند (رحمتی و همکاران ۲۰۱۹).

مساحت زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده (AUC) به‌عنوان معتبرترین آماره ارزیابی دقت مدل‌های طبقه‌بندی به‌شکل گسترده استفاده شده است. این آماره به‌طور مستقل از آستانه محاسبه می‌شود. از این‌رو، دیدگاه کارشناسی بر آن تأثیرگذار نیست (فراآینی و همکاران ۲۰۱۰). در این پژوهش، داده‌های رخداد و نبود رخداد سیل‌گیری گروه اعتبارسنجی روی نقشه خروجی مدل پیاده‌سازی شد و داده‌های متناظر احتمال سیل‌گیری استخراج شد. براساس داده‌های استخراج‌شده، منحنی مشخصه عملکرد گیرنده در نرم‌افزار آماری R رسم شد و مساحت زیر منحنی نامبرده به‌عنوان آماره ارزیابی دقت مدل محاسبه شد. از آنجایی که داده‌های گروه اعتبارسنجی در مراحل آموزش و ساخت مدل یادگیری ماشینی بیز ساده استفاده نشدند، آماره ارزیابی مساحت زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده بیانگر کارایی و عملکرد پیش‌بینی مدل بود. طبقه‌بندی عملکرد مدل براساس اندازه آماره مساحت زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده اینگونه بود که اندازه آماره کمتر از ۰/۷

محیطی مانند پیش‌بینی مخاطره‌های طبیعی به آن توجه داشته‌اند (وانگ و همکاران ۲۰۲۰). این مدل بر پایه قضیه بیز^{۱۴} و فرض استقلال عامل‌های محیطی (متغیرهای مستقل) ساخته شده است. قضیه بیز نظریه‌ای است که براساس رخداد یک رویداد، احتمال یک رویداد دیگر را توصیف می‌کند. این یک مفهوم اساسی در احتمال و آمار است که در هنگام مشاهده شواهد جدید برای به روزرسانی احتمالات استفاده می‌شود. این قضیه به نام آماردان معروف توماس بیز^{۱۵} نام‌گذاری شده است.

این مدل با محاسبه احتمال پسین هر طبقه و با توجه به داده‌های عامل‌های محیطی ورودی، طبقه‌بندی را انجام می‌دهد و به‌رغم ساده بودن ساختار آن، در عمل به‌ویژه در حل مسائل پیچیده مانند علوم طبیعی و علوم پزشکی کاربرد گسترده‌ای دارد (مسوادی و همکاران ۲۰۲۱). معادله اصلی مدل بیز به‌شکل رابطه ۲ است (برار ۲۰۲۵).

$$P(C|X) = \frac{P(X|C) \times P(C)}{P(X)} \quad (2)$$

$P(C|X)$: احتمال اینکه سلولی^{۱۶} از لایه متغیر مستقل X متعلق به طبقه C (پهنه سیل‌گیر) باشد (احتمال پسین)، $P(X|C)$: احتمال مشاهده متغیر مستقل X در شرایطی که متعلق به طبقه C (پهنه سیل‌گیر) باشد، $P(C)$: احتمال پیشین طبقه C (پهنه سیل‌گیر) و $P(X)$: احتمال کلی مشاهده ویژگی X است.

سرانجام، با این مدل می‌توان احتمال رخداد سیل‌گیری را با توجه به اندازه‌های عامل‌های محیطی برای هر سلول محاسبه کرد. مزیت اصلی این مدل، سادگی، سرعت زیاد و کارایی مناسب حتی با داده‌های کم حجم است (پاجیلا و همکاران ۲۰۲۳). از آنجایی که داده‌های کامل رخداد سیل‌گیری در آبخیزهای کشور موجود نیست، عموماً به‌عنوان مناطق کم‌داده^{۱۷} شناخته شده‌اند و استفاده از مدل‌های آب‌شناختی و

18- Cut-off independent threshold

19- Cut-off dependent threshold

14- Bayes' Theorem

15- Thomas Bayes

16- Pixel

17- Data-scarce

می‌شود. زمانی اهمیت این موضوع بیشتر می‌شود که دستگاه‌های اجرایی با محدودیت منابع مالی و انسانی روبرو باشند. نقشه پهنه‌بندی استعداد سیل‌گیری به‌روشنی مناطق بحرانی که باید در اولویت باشند را مشخص می‌کند.

نتایج و بحث

عامل‌های محیطی مؤثر بر رخداد سیل‌گیری

سیل، یک پدیده پیچیده است که در اثر مشارکت عامل‌های محیطی مختلف رخ می‌دهد. در این پژوهش، ۱۳ عامل محیطی مؤثر بر سیل‌گیری از جمله عامل‌های پستی‌بلندی، خاک‌شناسی، آب‌شناسی، کاربری، اقلیمی، زمین‌شناختی و محیطی برای استفاده در مدل‌سازی انتخاب شدند که نقشه آن‌ها در شکل ۳ ارائه شده است.

در نظر گرفتن عامل‌های محیطی مختلف برای تجزیه و تحلیل مکانی و پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری ضروری است. تنوع و تغییرات مکانی در هر یک از متغیرهای بلندی زمین، جهت دامنه، تراکم زهکشی، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، انحنا سطح، انحنا مقطع، میانگین سالانه بارندگی، درصد شیب، بافت خاک، شاخص توان جریان، فاصله از آبراهه و شاخص رطوبت پستی‌بلندی در آبخیز زرينه‌رود مشاهده شد. تغییرات اندازه بلندی در این آبخیز قابل مشاهده و از ۱۳۶۳ تا ۳۱۴۸ متر متغیر بود. جهت‌های گوناگون دامنه در بخش‌های متفاوت پراکنش داشت. تراکم زهکشی در این آبخیز از صفر تا ۱/۷ کیلومتر بر کیلومتر مربع متغیر بود و بیشترین اندازه این متغیر در بخش‌های شمالی آبخیز مشاهده شد. کاربری‌های مسکونی، کشاورزی، زمین بایر، باغ، مرتع و پهنه آبی در این آبخیز شناسایی شد. از دیدگاه سنگ‌شناسی، ۲۶ واحد گوناگون در این آبخیز شناسایی شد که نشان‌دهنده تنوع و پیچیدگی سنگ‌شناسی منطقه بود.

با توجه به پستی‌بلندی نسبتاً متنوع این آبخیز، دامنه‌های آن از دیدگاه انحنا سطح و انحنا مقطع به طبقه‌های مقعر، محدب و تخت طبقه‌بندی شدند. اندازه بارندگی سالانه در منطقه پژوهش‌شده از ۳۵۶ تا

نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل، اندازه آماره میان ۰/۷ تا ۰/۸ نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل، اندازه آماره میان ۰/۸ تا ۰/۹ نشان‌دهنده عملکرد خیلی خوب و اندازه آماره میان ۰/۹ تا ۱ بیانگر عملکرد عالی مدل بود (عرب‌عامری و همکاران ۲۰۲۰).

در این پژوهش، آماره‌های مختلف وابسته به آستانه شامل Accuracy، Precision و Recall برای اطمینان از عملکرد مدل محاسبه شدند. در ماتریس خطا چهار مؤلفه مثبت درست (TP)، منفی درست (TN)، مثبت نادرست (FP) و منفی نادرست (FN) بود که آماره‌های وابسته به آستانه براساس آن‌ها تعیین شدند. هر یک از این آماره‌ها با استفاده از رابطه‌های ۳، ۴ و ۵ محاسبه شد (فراتینی و همکاران ۲۰۱۰).

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (3)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

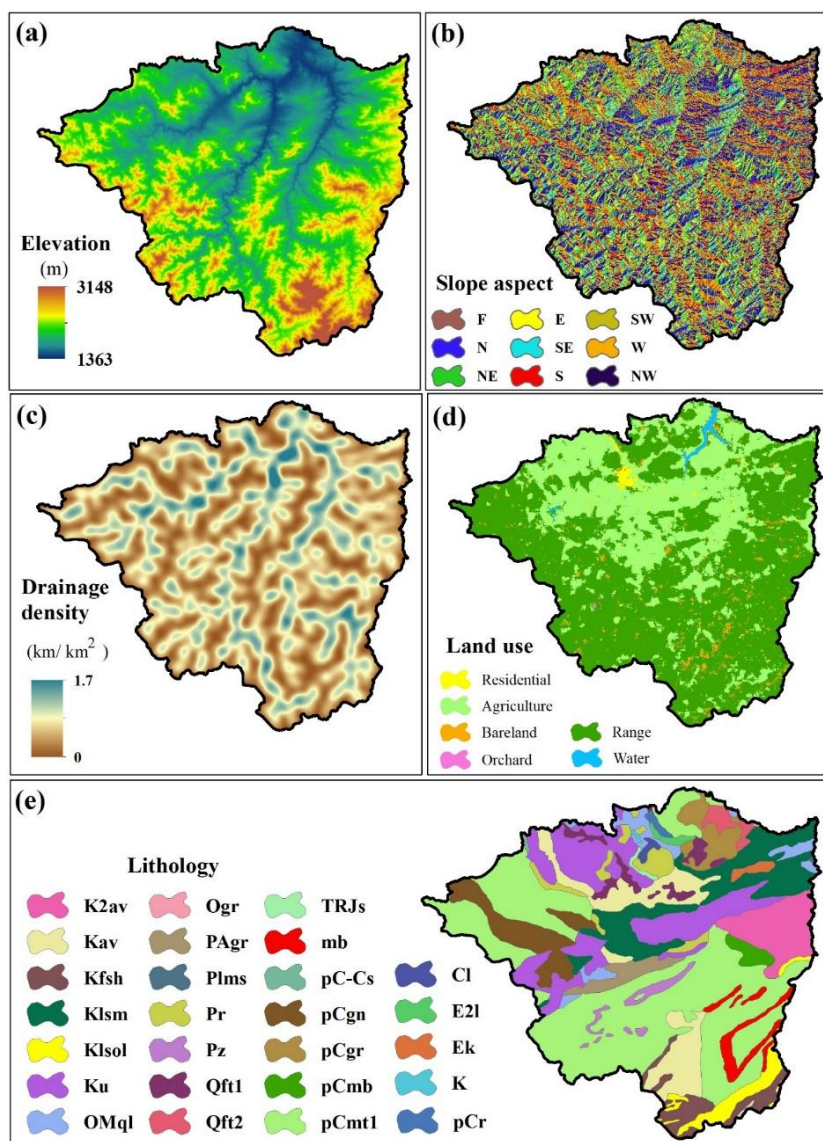
$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

تولید نقشه پهنه‌بندی استعداد سیل‌گیری

نقشه احتمال رخداد سیل‌گیری (نتیجه مدل‌سازی) یک نقشه کمی است که ارزش عددی هر سلول میان صفر تا یک متغیر است (چوبین و همکاران ۲۰۲۳). به‌منظور درک بهتر وضعیت سیل‌گیری آبخیزها، لایه‌های رستری نقشه به‌دست آمده از فرایند مدل‌سازی، با استفاده از روش طبقه‌بندی گام یکسان، پهنه‌بندی شد. نقشه پهنه‌بندی استعداد سیل‌گیری شامل پنج طبقه مختلف استعداد خیلی کم، استعداد کم، استعداد متوسط، استعداد زیاد و استعداد خیلی زیاد بود. این نقشه اطلاعات مفیدی برای مدیران و کارشناسان منابع طبیعی و آبخیزداری فراهم می‌آورد تا روی پهنه‌های مستعد سیل‌گیری زیاد و خیلی زیاد تمرکز کنند و منابع مالی و فعالیت‌های اجرایی را برای این پهنه‌ها برنامه‌ریزی کنند. در برخی شرایط، عملیات آبخیزداری و مهار سیلاب بدون توجه به وضعیت بالقوه سیل‌گیری در بخش‌هایی از آبخیز اجرا

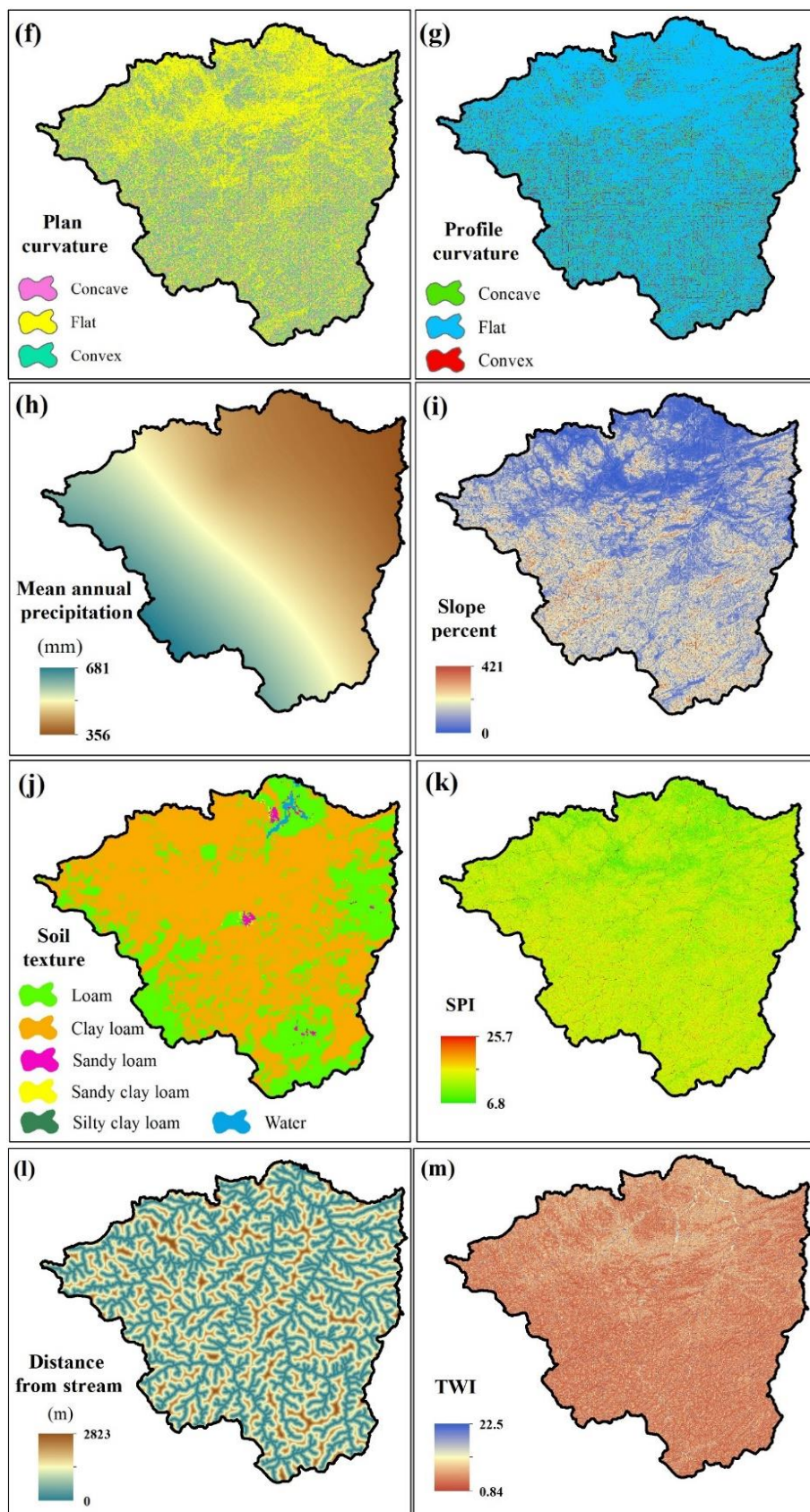
این آبخیز، تغییرات مکانی از دیدگاه شیب زمین قابل مشاهده بود.

۶۸۱ میلی‌متر متغیر بود. اندازه شیب زمین در این آبخیز از صفر تا ۴۲۱٪ متغیر بود. به بیان دیگر، در



شکل ۳- متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری در آبخیز زرینه‌رود: (a) بلندی، (b) جهت شیب، (c) تراکم زهکشی، (d) کاربری زمین، (e) سنگ‌شناسی، (f) انحنا سطح، (g) انحنا مقطع، (h) میانگین سالانه بارندگی، (i) درصد شیب، (j) بافت خاک، (k) شاخص توان جریان، (l) فاصله از جریان و (m) شاخص رطوبت پستی‌بلندی.

Figure 3- Independent variables for predicting flood susceptibility in the Zarineh-Rud Watershed: a) elevation, b) slope aspect, c) drainage density, d) land use, e) lithology, f) plan curvature, g) profile curvature, h) mean annual precipitation, i) slope percent, j) soil texture, k) stream power index (SPI), l) distance from stream, and m) topographic wetness index (TWI).



شکل ۳- (ادامه).

Figure 3- (continued).

وضعیت هم‌خطی چندگانه

نتایج آزمون هم‌خطی چندگانه در جدول ۱ ارائه شده است. اندازه آماره عامل تحمل برای هر یک از متغیرهای مستقل آبخیز زرینه‌رود در این پژوهش بزرگتر از ۰/۱ به دست آمد. از این رو، متغیرهای مستقل استفاده شده بدون هم‌خطی چندگانه بودند و تمامی آن‌ها از دیدگاه آماری به عنوان عامل‌های پیش‌بینی‌کننده به مدل معرفی شدند.

در این آبخیز، طبقه‌های بافت خاک شامل لومی، لومی رسی، لومی شنی، لومی رسی شنی، و لومی رسی سیلتی بود. همچنین، بیشترین اندازه شاخص توان جریان مربوط به بخش‌های جنوبی آبخیز بود. با توجه به گستردگی شبکه زهکشی، در بیشتر بخش‌های این آبخیز مسیر زهکشی وجود داشت و اندازه فاصله تا نزدیکترین آبراهه یا رود از صفر تا ۲۸۲۳ متر متغیر بود. اندازه شاخص رطوبت پستی‌بلندی نیز از ۰/۸۴ تا ۲۲/۵ متغیر بود و بیشترین اندازه آن در بخش‌های شمالی که رودهای اصلی جریان داشتند، به دست آمد.

جدول ۱- آماره عامل تحمل متغیرهای مستقل استفاده شده در آبخیز زرینه‌رود.

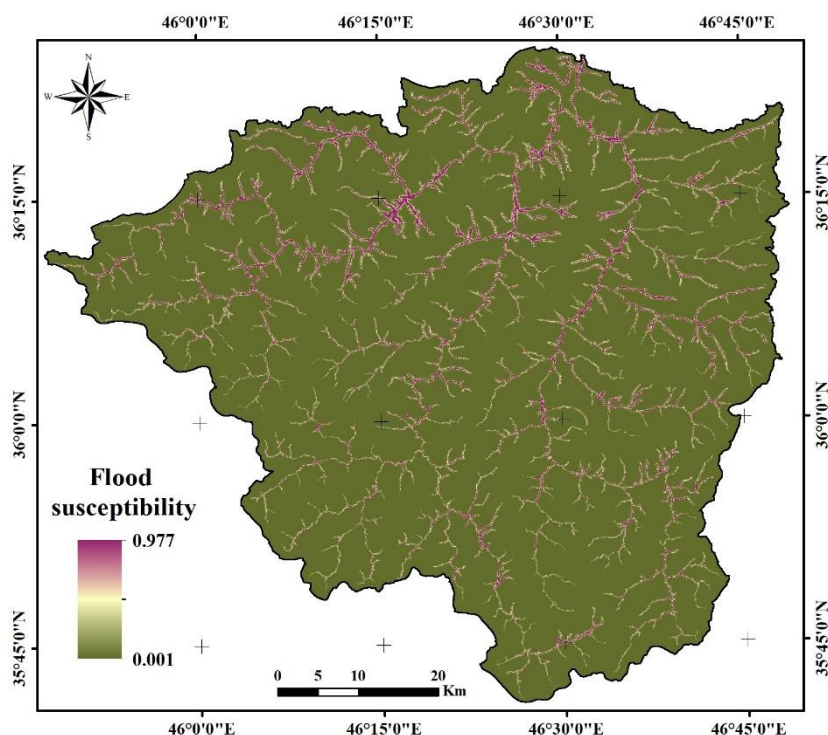
Table 1- Tolerance statistic for the independent variables used in the Zarineh-Rud Watershed.

No.	Variable	Tolerance	No.	Variable	Tolerance
1	Soil texture	0.781	8	TWI	0.121
2	SPI	0.125	9	Lithology	0.905
3	Distance from stream	0.265	10	Plan curvature	0.839
4	Slope aspect	0.903	11	Precipitation	0.762
5	Elevation	0.313	12	Profile curvature	0.784
6	Drainage density	0.258	13	Slope percent	0.185
7	Land use	0.742			

الگوی مکانی استعداد سیل‌گیری

نقشه استعداد سیل‌گیری آبخیز زرینه‌رود که با استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده و براساس رخداد‌های تاریخی سیل این آبخیز تولید شد، در شکل ۴ نشان داده شده است. اندازه استعداد سیل در بخش‌های مختلف این آبخیز متفاوت بود و بسته به شرایط محیطی از ۰/۰۰۱ تا ۰/۹۷۷ متغیر بود.

براساس نتایج به دست آمده، سلول‌هایی که بالقوه سیل‌گیری زیادی داشتند عموماً در بخش‌های شمالی، جنوبی و شرقی آبخیز زرینه‌رود مشاهده شدند. تغییرات مکانی درجه استعداد سیل‌گیری در این نقشه مؤید پیچیدگی پدیده سیل و مشارکت عامل‌های محیطی مختلف در مقیاس آبخیز بود.



شکل ۴- نقشه استعداد سیل‌گیری آبخیز زرینه‌رود با استفاده از مدل بیز ساده.

Figure 4- Flood susceptibility map of the Zarineh-Rud Watershed using the Naive Bayes Model.

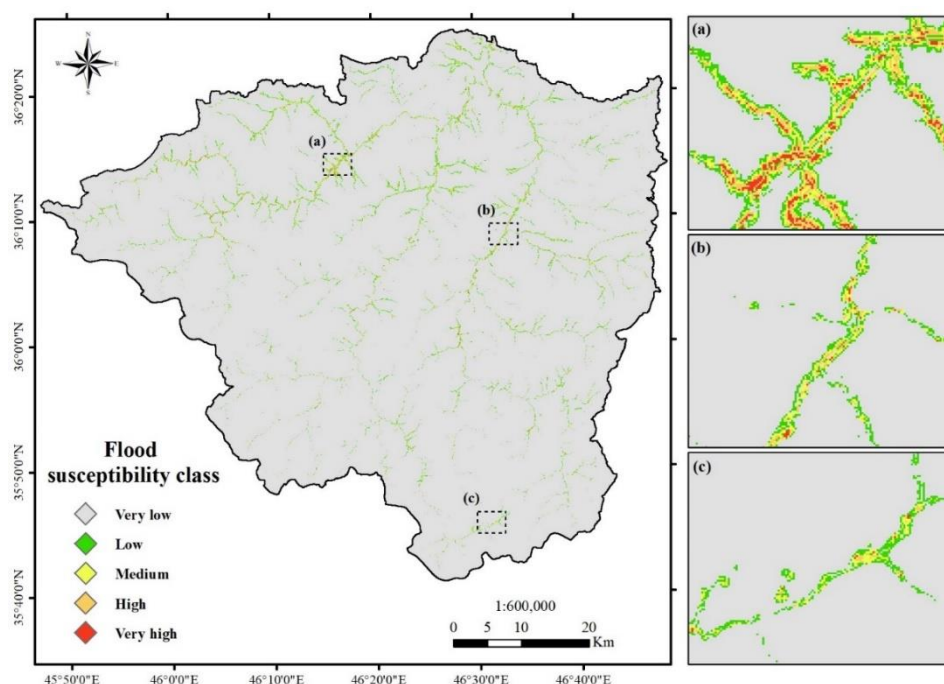
از این رو، امکان متمرکز کردن عملیات اجرایی و برنامه‌های مدیریتی روی پهنه‌های با استعداد سیل‌گیری زیاد و خیلی‌زیاد می‌تواند کارایی اقدامات را در مقیاس آبخیز به‌طور چشمگیری افزایش دهد. اهمیت این نکته هنگامی بیشتر خواهد بود که منابع مالی و انسانی برای مدیریت سیل آبخیز محدود باشد و تصمیم‌گیران باید سطح محدودی از یک آبخیز را برای اجرای عملیات انتخاب کنند.

نقشه پهنه‌بندی استعداد سیل‌گیری در شکل ۵ نشان‌داده شده است. پهنه‌بندی نقشه استعداد سیل‌گیری با استفاده از روش طبقه‌بندی گام یکسان^{۲۰} انجام شد (پال و سینقا ۲۰۲۲). در این نقشه، آبخیز زرینه‌رود به پنج طبقه استعداد خیلی‌کم (صفر تا ۰/۲)، کم (۰/۲ تا ۰/۴)، متوسط (۰/۴ تا ۰/۶)، زیاد (۰/۶ تا ۰/۸) و خیلی‌زیاد (۰/۸ تا ۱) تقسیم شد.

سه قسمت از این نقشه بزرگ‌نمایی شد. قسمت اول (a) شامل محدوده شهری سقز و روستاهای قبل و بعد از آن بود. قسمت دوم (b) شامل زمین محدوده روستاهای خانه‌میران و چناره بود. قسمت سوم (c) نیز زمین روستای گوگجه بود. بر اساس بخش‌های بزرگ‌نمایی‌شده این نقشه، تغییرات مکانی زیادی از دیدگاه وضعیت استعداد سیل‌گیری در بخش‌های مختلف آبخیز زرینه‌رود مشاهده شد.

نقشه پهنه‌بندی استعداد سیل‌گیری به‌شکل روشنی معرف مناطق پرخطر برای مدیران و کارشناسان است.

20- Equal interval classification



شکل ۵- نقشه پهنه‌های استعداد سیل‌گیری آبخیز زرینه‌رود با استفاده از مدل بیز ساده.

Figure 5- Flood susceptibility map of the Zarineh-Rud Watershed using the Naive Bayes Model.

نتایج پژوهش رحمتی و همکاران (۲۰۲۴) که از مدل تحلیل تفکیک‌کننده انعطاف‌پذیر برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری آبخیز زرینه‌رود استفاده کردند، حدود ۶۲ هزار هکتار از این آبخیز در پهنه‌های استعداد سیل‌گیری زیاد و خیلی‌زیاد بودند. با توجه به تفاوت در ساختار پیش‌بینی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، اختلاف در تعیین پهنه‌های استعداد سیل‌گیری قابل انتظار بود. تطابق نقشه‌های پیش‌بینی به‌دست‌آمده از پژوهش رحمتی و همکاران (۲۰۲۴) با یافته‌های این پژوهش بیانگر آن بود که با استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده بخش‌های کمتری از آبخیز زرینه‌رود در پهنه‌های استعداد سیل‌گیری زیاد و خیلی‌زیاد بودند. در این آبخیز، پژوهش محدودی در زمینه شناسایی مناطق مستعد سیل اجرا شده است و انجام پژوهش‌هایی با استفاده از رویکردهای مختلف در این آبخیز ضروری است. هنگامی که یک مدل سطح بیشتری را به‌عنوان منطقه بحرانی (با استعداد سیل‌گیری زیاد و خیلی‌زیاد) پیش‌بینی کند، ممکن است در شرایط محدودیت بودجه، عملیات اجرایی

مساحت پهنه‌های استعداد سیل‌گیری آبخیز زرینه‌رود در جدول ۲ ارائه شده است. در این آبخیز براساس تحلیل‌های انجام‌شده، بیشترین سطح پهنه‌ها به‌ترتیب مربوط به پهنه‌های استعداد خیلی‌کم سیل‌گیری (۴۳۷۵۶۵/۷۸ هکتار) و استعداد کم سیل‌گیری (۶۵۹۸/۹۸ هکتار) بود. مساحت پهنه استعداد متوسط سیل‌گیری نیز حدود ۲۷۶۴ هکتار از زمین آبخیز زرینه‌رود بود. همچنین، نتایج نشان داد حدود ۱۲۹۶ هکتار از این آبخیز در پهنه استعداد سیل‌گیری زیاد بود. افزون بر آن، حدود ۲۹۷ هکتار از این آبخیز در پهنه استعداد خیلی‌زیاد سیل‌گیری بود. از آنجایی که پهنه‌های استعداد زیاد و خیلی‌زیاد سیل‌گیری نیازمند توجه ویژه هستند، حدود ۱۵۹۳ هکتار از این آبخیز از دیدگاه سیل‌گیری در وضعیت بحرانی هستند. براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت، تمام برنامه‌های عملیاتی و مدیریتی در راستای مهار سیل باید به محدوده ۱۵۹۳ هکتار معطوف شود تا از هدررفت منابع و اجرای اقدامات پیشگیرانه سیل در مناطق با استعداد سیل‌گیری کمتر جلوگیری شود. براساس

زمین است و گروه سخت شامل عملیات فیزیکی مانند ساخت دیواره‌های ساحلی و سیل‌بندها است.

جدول ۳- مناطق روستایی مستعد سیل‌گیری در آبخیز زرینه‌رود.

Table 3- Rural areas prone to flooding in the Zarineh-Rud Watershed.

No.	Village	City
1	Best	Divandareh
2	Azizabad	Divandareh
3	Biandareh	Baneh
4	Bademjan	Baneh
5	Khoshedare	Saqquez
6	Eshaghabad	Saqquez
7	Darezarat-sofla	Saqquez
8	Talejar	Saqquez
9	Hangechineh	Saqquez
10	Sardareh	Saqquez
11	Piromaran	Saqquez
12	Gheshlagh-pol	Saqquez
13	Kaniband	Saqquez
14	Ghahreman	Saqquez
15	Kaniniyaz	Saqquez
16	Gheshlagh-reza	Saqquez
17	Ghaplanto	Saqquez
18	Mahidar-olia	Saqquez
19	Khorkhoreh	Saqquez
20	Mirge-nakhshineh	Saqquez

ارزیابی کارایی مدل

نتایج ارزیابی عملکرد مدل در این پژوهش براساس دو گروه معیارهای مستقل از آستانه و وابسته به آستانه در جدول ۴ نشان داده شده است. با استفاده از آماره مساحت زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده (AUC) اثبات شد که دقت خروجی مدل ۰/۹۳۶ (۹۳/۶٪) بود. در این پژوهش، براساس طبقات عملکرد مدل بر اساس معیار ارزیابی AUC، مشاهده شد عملکرد مدل ناوی بیز در دسته‌بندی در طبقه عالی بود. بر پایه روش پژوهش، آماره‌های وابسته به آستانه به‌عنوان معیارهای ثانویه انتخاب شدند و صرفاً برای اطمینان از قابلیت پیش‌بینی مدل استفاده شدند. براساس آماره‌های وابسته به آستانه می‌توان گفت کارایی مدل یادگیری ماشینی بیز ساده براساس آماره Accuracy ۸۵/۷٪، براساس آماره Precision ۸۲/۶٪ و براساس آماره Recall ۹۰/۴٪ به‌دست آمد. افزون بر این،

آبخیزداری و مهار سیلاب تمام پهنه مد نظر را پوشش ندهد. از این‌رو، استفاده از مدل‌هایی که سطح کمتری را به‌عنوان پهنه بحرانی شناسایی می‌کنند، در شرایطی که دقت پیش‌بینی مدل مناسب باشد، امکان برنامه‌ریزی عملیات اجرایی براساس نقشه استعداد سیل‌گیری بهتر فراهم خواهد شد.

جدول ۲- مساحت پهنه‌های استعداد سیل‌گیری آبخیز زرینه‌رود.

Table 2- Area of flood susceptibility zones in the Zarineh-Rud Watershed.

No.	Flood susceptibility zone	Area (ha)
1	Very low	437565.78
2	Low	6598.98
3	Medium	2764.1
4	High	1296.36
5	Very high	297.18

براساس نقشه پهنه‌بندی استعداد سیل‌گیری، زمین مناطق روستایی که در پهنه‌های استعداد زیاد و خیلی‌زیاد بودند، شناسایی شدند (جدول ۳). برخی از زمین روستاهای بست و عزیزآباد از توابع شهرستان دیواندره، روستاهای بیاندره و بادمجان از توابع شهرستان بانه در طبقه‌های استعداد سیل‌گیری خیلی زیاد بودند. همچنین، برخی از زمین روستاهای خوشه‌دره، اسحاق‌آباد، دره‌زیارت‌سفلی، طاله‌جر، هنگه‌چینه، سردره، پیرعمران، قشلاق‌پل، کانی‌بند، قهرمان، کانی‌نیاز، قشلاق‌رضا، قیلانتو، ماهیدرعلیا، خورخوره و میرگه‌نخشینه از توابع شهرستان سقز نیز در طبقه استعداد سیل‌گیری خیلی‌زیاد بودند. در برخی شرایط، محل روستا نیز در پهنه استعداد سیل‌گیری زیاد یا خیلی‌زیاد بود که اهمیت اقدامات مهار سیلاب در این شرایط دوچندان خواهد بود. با مشخص شدن موقعیت اجرای برنامه‌های مهار سیلاب فعالیت دستگاه‌های اجرایی مرتبط با موضوع سیلاب به این بخش‌های آبخیز زرینه‌رود معطوف خواهد شد. برنامه‌های مهار سیلاب شامل دو گروه نرم و سخت هستند. گروه نرم عمدتاً مربوط به برنامه‌های مدیریتی مانند رعایت حریم رودها و مشارکت جامعه‌های محلی در افزایش پوشش گیاهی و جلوگیری از تغییر کاربری

تأیید شد و قابلیت آن برای پیش‌بینی استعداد سیل در مقیاس آبخیز زیاد بود.

عملکرد مدل یادگیری ماشینی بیز ساده براساس مهمترین آماره ارزیابی (مساحت زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده) و براساس آماره‌های ثانویه ارزیابی

جدول ۴- نتایج اعتبارسنجی مدل برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری در آبخیز زرينه‌رود.

Table 4- Results of model validation for flood susceptibility prediction in the Zarineh-Rud Watershed.

Evaluation approach	Evaluation criteria	Value
Cut-off independent threshold	AUC	0.936
	Accuracy	0.857
Cut-off dependent threshold	Precision	0.826
	Recall	0.904

آماره‌های اعتبارسنجی مستقل به آستانه و وابسته به آستانه اثبات شد که قابلیت مدل بیز ساده برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری آبخیزها زیاد است. عملکرد این مدل براساس آماره‌های نامبرده عالی ارزیابی شد و نقشه استعداد سیل‌گیری آبخیز زرينه‌رود تولید شد. براساس تحلیل‌های انجام‌شده، حدود ۱۵۹۳ هکتار از این آبخیز از دیدگاه سیل‌گیری در وضعیت بحرانی بودند. از این‌رو، تمام برنامه‌های عملیاتی و مدیریتی در راستای مهار سیل باید به محدوده ۱۵۹۳ هکتار معطوف شود تا از هدررفت منابع و اجرای اقدامات پیشگیرانه سیل در مناطق با استعداد سیل‌گیری کمتر جلوگیری شود.

بر اساس یک نتیجه‌گیری کلی مبتنی بر تحلیل‌های کمی و علمی، در شرایط کمبود داده آبخیزهای کشور با استفاده از مدل یادگیری ماشینی بیز ساده برای پیش‌بینی مناطق مستعد سیل می‌توان نتایج مفیدی را ارائه داد و در شرایط معطوف‌شدن عملیات اجرایی و برنامه‌های مدیریتی مهار سیل در بخش‌های با استعداد سیل زیاد و خیلی‌زیاد، مدیریت سیل امکان‌پذیرتر خواهد شد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، عملکرد مدل یادگیری ماشینی بیز ساده در دیگر آبخیزهای کشور برای شناسایی مناطق مستعد سیل بیشتر بررسی شود و تا جایی که ممکن باشد نقاط ضعف احتمالی آن برطرف شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود از این مدل برای تهیه نقشه استعداد

بر اساس یافته‌های این پژوهش، کارایی مدل یادگیری ماشینی بیز ساده برای پیش‌بینی استعداد سیل در مقیاس آبخیز مناسب بود که با نتایج چن و همکاران (۲۰۲۰) و فم و همکاران (۲۰۲۰) هماهنگی دارد. اگرچه عملکرد این مدل در زمینه پیش‌بینی استعداد سیل مناسب بود، اما پژوهشگران در دیگر آبخیزها باید قابلیت‌های آن را با انجام پژوهش‌های بیشتر، معرفی کنند. براساس نتایج پژوهش ویکراماسینگه و کالتوراجی (۲۰۲۱)، می‌توان از مدل بیز ساده به‌دلیل قابلیت‌های زیادش در زمینه‌های علوم پیچیده برای تجزیه و تحلیل داده‌های حجیم^{۲۱} استفاده کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هر ساله در کشور، اثرات زیان‌بار اجتماعی و اقتصادی سیلاب‌ها (مانند خسارت‌های مالی و تلفات جانی) مشاهده می‌شود و مشکلات پرشماری را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر ساکنان آبخیزهای کشور تحمیل می‌کند. با توجه به کمبود داده‌های آب‌شناختی و آبی در سطح آبخیز، در این پژوهش مدل بیز ساده به‌عنوان یک مدل یادگیری ماشینی برای پیش‌بینی استعداد سیل‌گیری استفاده شد و عملکرد آن براساس داده‌های حقیقی سیل‌گیری و آماره‌های اعتبارسنجی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که سیل یک پدیده پیچیده است و براساس مشارکت عامل‌های محیطی پرشماری رخ می‌دهد. با استفاده از

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منفعی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده‌شده در این پژوهش، با مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار مخاطب قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، پردازش داده، مدل‌سازی، انجام تحلیل‌های آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله
نویسنده دوم: جمع‌آوری داده، مفهوم‌سازی، ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج

سیل‌گیری براساس داده‌های سیلاب‌های تاریخی در دیگر آبخیزهای کشور استفاده شود.

سیاس‌گذاری

از حمایت‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، شرکت آب منطقه‌ای، اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، دفتر مدیریت بحران استانداری و جمعیت هلال احمر استان کردستان برای تهیه و جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های موقعیت سیل‌قردانی و تشکر می‌شود.

فهرست منابع

- Aalami M, Ardestani M, Malekmohammadi B. 2024. Flood potential modeling in Zarineh Rood watershed using artificial intelligence models. *Watershed Management Research*. 37(1): 2-17. (In Persian). DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360973.1513
- Abedi R, Costache R, Shafizadeh-Moghadam H, Pham QB. 2022. Flash-flood susceptibility mapping based on XGBoost, random forest and boosted regression trees. *Geocarto International*. 37(19): 5479-5496. DOI: 10.1080/10106049.2021.1920636
- Arabameri A, Saha S, Mukherjee K, Blaschke T, Chen W, Ngo PTT, Band SS. 2020. Modeling spatial flood using novel ensemble artificial intelligence approaches in northern Iran. *Remote Sensing*. 12(20): p.3423. DOI: 10.3390/rs12203423
- Arabameri A, Seyed Danesh A, Santosh M, Cerda A, Chandra Pal S, Ghorbanzadeh O, Chowdhuri I. 2022. Flood susceptibility mapping using meta-heuristic algorithms. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 13(1): 949-974. DOI: 10.1080/19475705.2022.2060138
- Barati GR, Bodagh Jamali J, Maleki N. 2012. Anticyclones and Heavy Rainfalls over Western Iran. *Physical Geography Research*. 44(2): 85-98. (In Persian). DOI: 10.22059/jphgr.2012.29208
- Berrar, D. 2025. Bayes' Theorem and Naive Bayes Classifier. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology (Second Edition)*. pp. 483-494. DOI: 10.1016/B978-0-323-95502-7.00118-4
- Chan JYL, Leow SMH, Bea KT, Cheng WK, Phoong SW, Hong ZW, Chen YL. 2022. Mitigating the multicollinearity problem and its machine learning approach: A review. *Mathematics*. p.1283. DOI:10.3390/math10081283
- Chowdhury ME, Islam AS, Zzaman RU, Khadem S. 2025. A machine learning-based approach for flash flood susceptibility mapping considering rainfall extremes in the northeast region of Bangladesh. *Advances in Space Research*. 75(2):1990-2017. DOI: 10.1016/j.asr.2024.10.047
- Chen J, Huang G, Chen W. 2021. Towards better flood risk management: Assessing flood risk and investigating the potential mechanism based on machine learning models. *Journal of Environmental Management*. p.112810. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112810
- Chen W, Li Y, Xue W, Shahabi H, Li S, Hong H, Wang X, Bian H, Zhang S, Pradhan B, Ahmad BB. 2020. Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naive bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. *Science of the Total Environment*.

- p.134979. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134979
- Choubin B, Hosseini FS, Rahmati O, Youshanloei MM. 2023. A step toward considering the return period in flood spatial modeling. *Natural Hazards*. 115(1): 431-460. DOI: 10.1007/s11069-022-05561-y
- Choubin B, Sajedi Hosseini F, Rahmati O. 2025. Spatial Analysis of Vulnerability in Zarrinehrood Watershed to Flood Occurrence. *Iranian Journal of Watershed Management Science* 18(67): 73-86. (In Persian). DOI: 10.22034/18.67.6
- Dutta P, Deka S. 2024. A novel approach to flood risk assessment: Synergizing with geospatial based MCDM-AHP model, multicollinearity, and sensitivity analysis in the Lower Brahmaputra Floodplain, Assam. *Journal of Cleaner Production*. p.142985. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142985
- Fratini P, Crosta G, Carrara A. 2010. Techniques for evaluating the performance of landslide susceptibility models. *Engineering geology*. 111(1-4): 62-72. DOI: 10.1016/j.enggeo.2009.12.004
- Habibi A, Delavar MR, Sadeghian MS, Nazari B. 2023. Flood Susceptibility Mapping and Assessment Using Regularized Random Forest and NAÏVE Bayes Algorithms. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 10: 241-248. DOI: 10.5194/isprs-Annals-X-4-W1-2022-241-2023
- Hosseini SA, Ahmadi H, Houshyar M. 2021. Analysis of Rainfall System, Leading to Floods in July 2015 in Saghez City in Kurdistan Province. *Integrated Watershed Management*, 1(1): 45-62. (In Persian). DOI: 10.22034/iwm.2021.247942
- Khajehnejad R, Bahremand A, Mohammadrezaei M. 2024. An overview of integrated flood management in Iran: current status and challenge. *Journal of Aquifer and Qanat*. 5(1): 183-202. (In Persian). DOI: 10.22077/jaaq.2024.8149.1077
- Maswadi K, Ghani NA, Hamid S, Rasheed MB. 2021. Human activity classification using Decision Tree and Naïve Bayes classifiers. *Multimedia Tools and Applications*. 80: 21709-21726. DOI: 10.1007/s11042-020-10447-x
- Moazzam MFU, Lee BG, Rahman AU, Farid N, Rahman G. 2020. Spatio-statistical analysis of flood susceptibility assessment using bivariate model in the floodplain of river swat, district charsadda, Pakistan. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 8(05): 159. DOI: 10.4236/gep.2020.85010
- Pajila PB, Sheena BG, Gayathri A, Aswini J, Nalini M. 2023, September. A comprehensive survey on naive bayes algorithm: Advantages, limitations and applications. In 2023 4th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC). pp. 1228-1234. DOI: 10.1109/ICOSEC58147.2023.10276274
- Pal S, Singha P. 2022. Analyzing sensitivity of flood susceptible model in a flood plain river basin. *Geocarto International*. 37(24):7186-7219. DOI: 10.1080/10106049.2021.1967464
- Pham BT, Phong TV, Nguyen HD, Qi C, Al-Ansari N, Amini A, Ho LS, Tuyen TT, Yen HPH, Ly HB, Prakash I. 2020. A comparative study of kernel logistic regression, radial basis function classifier, multinomial naïve bayes, and logistic model tree for flash flood susceptibility mapping. *Water*. p.239. DOI: 10.3390/w12010239
- Qi W, Ma C, Xu H, Chen Z, Zhao K, Han H. 2021. A review on applications of urban flood models in flood mitigation strategies. *Natural Hazards*. 108: 31-62. DOI: 10.1007/s11069-021-04715-8
- Rahmati O, Darabi H, Panahi M, Kalantari Z, Naghibi SA, Ferreira CSS, Kornejady A, Karimidastenaie Z, Mohammadi F, Stefanidis S, Tien Bui D. 2020. Development of novel hybridized models for urban flood susceptibility mapping. *Scientific Reports*. p.12937. DOI: 10.1038/s41598-020-69703-7
- Rahmati O, Kornejady A, Choubin B, Jaafari A, Amini A. 2024. Evaluating the performance of the flexible discriminant analysis model in predicting the flooding potential of the Zarrineh-Rood Watershed. *Water and Soil Management and Modelling*. 4(3): 269-284. DOI: 10.22098/mmws.2023.13102.1303
- Rahmati O, Kornejady A, Samadi M, Deo RC, Conoscenti C, Lombardo L, Dayal K, Taghizadeh-Mehrjardi R, Pourghasemi HR, Kumar S, Bui DT. 2019. PMT: New analytical framework for automated evaluation of geo-environmental modelling approaches. *Science of the Total Environment*. 664: 296-311. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.017
- Rajabizadeh Y, Ayyoubzadeh SA, Zahiri A. 2019. Flood Survey of Golestan Province in 2018-2019 and Providing Solutions for Its Control and Management in the Future. *Journal of Ecohydrology*. 6(4): 921-942. (In Persian). DOI: 10.22059/ije.2019.283004.1137
- Samanta S, Pal DK, Palsamanta B. 2018. Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*. p. 66. DOI: 10.1007/s13201-018-0710-1

Seleem O, Ayzel G, de Souza ACT, Bronstert A, Heistermann M. 2022. Towards urban flood susceptibility mapping using data-driven models in Berlin, Germany. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 13(1): 1640-1662. DOI: 10.1080/19475705.2022.2097131

Siahkamari S, Haghizadeh A, Zeinivand H, Tahmasebipour N, Rahmati O. 2018. Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto International*. 33(9): 927-941. DOI: 10.1080/10106049.2017.1316780

Sulaiman MS, Abood MM, Sinnakaudan SK, Shukor MR, You GQ, Chung XZ. 2021. Assessing and solving multicollinearity in sediment transport prediction models using principal component analysis. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 27(sup1). pp. 343-353. DOI: 10.1080/09715010.2019.1653799

Tehrany MS, Kumar L. 2018. The application of a Dempster-Shafer-based evidential belief function in flood susceptibility mapping and comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Environmental Earth Sciences*. 77: 1-24. DOI: 10.1007/s12665-018-7667-0

Traoré K, Fowe T, Ouédraogo M, Zorom M, Bologo/Traoré M, Toé P, Karambiri H. 2024.

Mapping urban flood susceptibility in Ouagadougou, Burkina Faso. *Environmental Earth Sciences*. p. 561. DOI: 10.1007/s12665-024-11871-0

Thapa PS, Chaudhary S, Dasgupta P. 2022. Contribution of integrated watershed management (IWM) to disaster risk reduction and community development: Lessons from Nepal. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. p.103029. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2022.103029

Wang H, Wang H, Wu Z, Zhou Y. 2021. Using multi-factor analysis to predict urban flood depth based on Naive Bayes. *Water*. p. 432. DOI: 10.3390/w13040432

Wickramasinghe I, Kalutarage H. 2021. Naive Bayes: applications, variations and vulnerabilities: a review of literature with code snippets for implementation. *Soft Computing*. 25(3):2277-2293. DOI: 10.1007/s00500-020-05297-6

Widya LK, Rezaie F, Lee W, Lee CW, Nurwatik N, Lee S. 2024. Flood susceptibility mapping of Cheongju, South Korea based on the integration of environmental factors using various machine learning approaches. *Journal of Environmental Management*. p.121291. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.121291



Spatial Prediction of Flood Susceptibility in the Zarineh-Rud Watershed using a Simple Bayes Machine-Learning Model

Farnoush Mohammadi ^{1*}, Aref Bahmani ²

1- Ph.D. Student, Department of Arid and Mountain Reclamation Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Deputy of Watershed Management, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Kurdistan Province, Sanandaj, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Floods cause numerous financial losses and loss of life every year, and have a devastating impact on the sustainable development of the country. However, generally, actual flood events have not been used in spatial analysis and modeling, and flood susceptibility maps have been prepared solely based on expert opinions and multi-criteria decision-making methods. On the other hand, management plans and actions of executive agencies are usually developed without considering the different flood-prone areas of watersheds. This study was conducted with the aim of utilizing observational data of flooding events and determining the efficiency of the Naive Bayes model in spatial prediction of flooding susceptibility in the Zarineh-Rud watershed.

Materials and Methods

The flood events database was prepared based on flood event information in the Zarineh-Rud watershed recorded by the Provincial Disaster Management Office and the Regional Water Company. Given that various environmental factors play a role in the formation of floods and inundation of lands adjacent to rivers, flood modeling is not possible without considering them. Therefore, after reviewing various sources, thirteen environmental factors affecting flooding were selected, including land elevation, slope direction, drainage density, land use, lithology, surface curvature, cross-sectional curvature, average annual rainfall, slope percentage, soil texture, flow power index, distance from the watercourse, and topographic moisture index. The multicollinearity of environmental factors was examined using the tolerance factor statistic. Raster layers of environmental factors were introduced as independent variables into the Naive Bayes model. The flood event locations were divided into two groups, training and validation, based on the spatial random method with a ratio of 30 and 70 %. After running the model, a flood susceptibility map of the Zarineh-Rud watershed was produced, in which each cell represents the probability of flooding in that area. The accuracy of the flood susceptibility map was evaluated using independent and threshold-dependent statistics and validation group data.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author s' E-mail:** farnoushmohammadi@ut.ac.ir

Citation: Mohammadi, F., Bahmani, A. 2026 Spatial Prediction of Flood Susceptibility in the Zarineh-Rud Watershed using a Simple Bayes Machine-Learning Model. Watershed Management Research. 38(4): 108-127.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.369572.1623

Received: 25 May 2025, **Received in revised form:** 01 June 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol.38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp. 108-127.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Results and Discussion

Based on the results of this study, the independent variables considered were without multicollinearity and could be used as predictors in the modeling process. The validation results based on the area under the receiver operating characteristic curve statistic showed that the flood susceptibility map has an accuracy of 93.6%. According to the threshold-dependent statistics, the efficiency of the Naive Bayes machine learning model was obtained as 85.7 based on the Accuracy statistic, 82.6% based on the Precision statistic, and 90.4% based on the Recall statistic.

Conclusion and Suggestions

The performance of the Naive Bayes machine learning model was suitable for spatial prediction of flood susceptibility at the watershed scale and various variables can be used for spatial analysis. The flood susceptibility map should be considered as the basis for planning river regulation operations (such as building coastal walls and removing bed layers), flood management (such as respecting river boundaries), and watershed management (such as building watershed management structures in the upstream of flood-prone areas) in the Zarineh-Rud watershed. Therefore, it is suggested that this model be used to prepare flood susceptibility maps based on historical flood data in other basins of the country.

Keywords: Crisis management, flood, Kurdistan Province, modeling, spatial analysis

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to appreciate the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management, the Regional Water Company, the General Directorate of Road Administration and Road Transportation, the Governorate's Crisis Management Office, and the Kurdistan Province Red Crescent Society for providing information and data on the flood situation.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' Contribution

Author 1: Writing - original draft preparation

Author 2: Resources, Software, Manuscript editing



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌خیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مراکز تحقیقات آموزش و پژوهش کشاورزی

تحلیل فراوانی رخداد‌های گرد و غبار شمال دریاچه ارومیه

بر پایه تصویرهای سنجش از دور و الگوریتم MAIAC

مریم فتحی^۱، حسام احمدی‌بیرگانی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

توفان‌های گرد و غبار به‌عنوان یکی از مخاطره‌های زیست‌محیطی، بر سلامت انسان، کشاورزی و پایداری بوم‌سازگان اثرات گسترده‌ای دارند. در سال‌های گذشته، بروز این پدیده در نواحی پیرامون دریاچه ارومیه، به‌ویژه در بخش شمالی آن، به‌شکل قابل توجهی افزایش یافته است. این روند ناشی از عامل‌های پرشماری است که مهم‌ترین آن‌ها خشک شدن گسترده بستر دریاچه ارومیه در پی کاهش شدید منابع آبی و تغییرات اقلیمی است. کاهش اندازه آب ورودی به دریاچه و افزایش تبخیر به دلیل تغییرات اقلیمی موجب کاهش سطح آب و نمایان شدن بخش گسترده‌ای از بستر دریاچه شده است. امروزه، این بستر خشک‌شده به‌عنوان یک منبع تولید و انتشار ذرات معلق گرد و غبار در منطقه است که ادعاهای زیادی در زمینه گرد و غبار آن بر محیط پیرامون مطرح می‌شود. از این رو، پایش دقیق و تحلیل روندهای زمانی و مکانی توفان‌های گرد و غبار در حاشیه شمالی دریاچه ارومیه برای اتخاذ تدابیر مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی، اهمیت زیادی دارد. با توجه به اهمیت پایش دقیق این پدیده، بهره‌گیری از فناوری‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های تصحیح جو مانند MAIAC امکان ارائه تحلیل‌های دقیق‌تر و به‌روزتر را فراهم می‌آورد. در این راستا، هدف اصلی این پژوهش، تحلیل روندهای زمانی و مکانی تغییرات فراوانی روزهای گرد و غبار در حاشیه شمالی دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ با استفاده از داده‌های اصلاح‌شده الگوریتم گرد و غبار MAIAC بود. با استفاده از نتایج این پژوهش فهم فرآیندهای موثر در تولید و انتشار گرد و غبار بهبود یافته و راهکارهای مدیریتی مناسبی برای کاهش اثرات منفی آن می‌توان ارائه داد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، تصویرهای ماهواره‌ای MODIS با تفکیک متوسط در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ برای حاشیه شمالی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: h.ahmadybircani@urmia.ac.ir

استناد: فتحی، م.، احمدی‌بیرگانی، ح. ۱۴۰۴. تحلیل فراوانی رخداد‌های گرد و غبار شمال دریاچه ارومیه بر پایه تصویرهای سنجش از دور و الگوریتم MAIAC. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۴) ۱۲۸-۱۴۵.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.369926.1627

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۲۸ تا ۱۴۵.

نویسندگان ©

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



دریاچه ارومیه جمع‌آوری شد. با بهره‌گیری از قابلیت زیاد الگوریتم بازیابی هواویز (آئروسل) مایاک (MAIAC) در تفکیک دقیق ذرات معلق در هوا، روزهای گرد و غبار شناسایی شدند. داده‌های استخراج‌شده با سامانه گوگل ارث انجین (GEE) و نرم‌افزار ArcMap (نسخه ۱۰/۸) تحلیل شدند و برپایه تعداد روزهای گرد و غبار به چهار طبقه فراوانی کم (۵۰- روز گرد و غباری در سال) (طبقه ۱)، متوسط (۵۰-۱۰۰ روز گرد و غباری در سال) (طبقه ۲)، زیاد (۱۵۰-۱۰۰ روز گرد و غباری در سال) (طبقه ۳) و بسیار زیاد (بیش از ۱۵۰ روز گرد و غباری در سال) (طبقه ۴) تقسیم شدند. سپس، نقشه‌های توزیع مکانی و زمانی هر طبقه با دقت تهیه شد. همچنین، به‌منظور شناسایی و دسته‌بندی سال‌هایی با الگوهای مشابه از دیدگاه فراوانی روزهای گرد و غبار، از روش خوشه‌بندی K-Means در نرم‌افزار SPSS (نسخه ۳۰) استفاده شد. با استفاده از این تحلیل، سال‌ها برپایه فراوانی‌های مشابه در گروه‌های خوشه‌ای به‌خوبی تفکیک شدند.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات پراکنش مکانی و شدت رویدادهای گرد و غبار در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ قابل توجه بود. در سال‌های ابتدایی پژوهش (۲۰۰۸-۲۰۰۱)، فراوانی رخداد گرد و غبار در طبقه کم بود، اما از سال ۲۰۱۲ به بعد، مساحت طبقه‌های با فراوانی متوسط و زیاد، به‌طور چشمگیری افزایش یافت. هرچند در برخی سال‌ها مانند ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ فراوانی گرد و غبار، نسبتاً کاهش یافت، اما در سال‌های گذشته روند این پدیده افزایشی بود. نتایج تحلیل خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۳۰) نشان داد که بیشترین فراوانی روزهای گرد و غبار در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۵ و ۲۰۱۶-۲۰۱۵ مربوط به گروه خوشه ۲ بود. همچنین کمترین فراوانی روزهای گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷-۲۰۰۸، ۲۰۲۰-۲۰۱۹ و ۲۰۲۱-۲۰۲۰ مربوط به خوشه ۴ بود. همچنین، نتایج اعتبارسنجی با استفاده از داده‌های ایستگاه همدیدی شبستر (نزدیک‌ترین ایستگاه در شمال دریاچه ارومیه) نشان داد که ارتباط میان داده‌های ایستگاهی (کدهای ۵، ۶ و ۸) و مساحت پیکسل‌های با فراوانی زیاد گرد و غبار در تصویرهای سنجنش از دور ضعیف و از دیدگاه آماری معنادار نبود. این یافته‌ها بیانگر آن بود که ذرات گرد و غبار برخاسته از بستر خشک‌شده دریاچه قابلیت انتقال به فاصله‌های دور را نداشته و در فاصله‌ای بسیار نزدیک از محل برخاست خود فرو می‌نشینند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج بررسی فراوانی مکانی و زمانی پدیده گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ در حاشیه شمالی دریاچه ارومیه نشان داد که تغییرات سالانه فراوانی روزهای گرد و غبار در منطقه نامبرده، چشم‌گیر بود. از این‌رو، نقش عامل‌های اقلیمی، زمین‌شناختی، خاک‌شناسی و محیطی حائز اهمیت است. نتایج این پژوهش بیانگر ضرورت پایش مستمر و به‌روزرسانی داده‌ها در منطقه نامبرده است تا روند آسیب‌زای رخدادهای گرد و غبار در منطقه به موقع شناسایی و مدیریت شوند. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود از نتایج این پژوهش برای طراحی راهبردهای مدیریتی و کاهش مخاطره‌های زیست‌محیطی در منطقه استفاده شود تا تصمیم‌گیری‌های مطلوبی در سطح محلی و منطقه‌ای انجام شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود به‌روزرسانی داده‌ها در حاشیه شمالی دریاچه ارومیه به‌طور مستمر انجام شود تا روندهای آسیب‌زا به‌موقع شناسایی و تصمیم‌گیری‌های محلی و منطقه‌ای با دقت و اثرگذاری بیشتر انجام شود. از سوی دیگر، با تلفیق اطلاعات اقلیمی، زمین‌شناختی و خاک‌شناسی می‌توان به توسعه سامانه‌های هشدار سریع و مدیریت پیشگیرانه کمک کرد و اثرات منفی این پدیده بر محیط زیست و جامعه‌های محلی را به حداقل رساند.

واژگان کلیدی

الگوریتم MAIAC، خوشه‌بندی K-Means، دریاچه ارومیه، سنجنش از دور، فراوانی توفان‌های گرد و غبار

مقدمه

امروزه توفان های گرد و غبار به عنوان یکی از مهم ترین مخاطره های زیست محیطی شناخته شده اند که نقش مهمی در چرخه انرژی و مواد غذایی کره زمین دارند (عبادی و همکاران ۲۰۲۴؛ احمدی بیرگانی و فیض نیا ۲۰۱۶). بادهای شدید ذرات ریزدانه را از رسوبات سست و خشک سطح زمین بلند کرده و منجر به شکل گیری پدیده گرد و غبار می شوند (ژانگ و همکاران ۲۰۲۴). این توفان های گرد و غبار شامل ذرات جامد بسیار ریزی هستند که در نتیجه شرایط جوی ناپایدار، خشکسالی های طولانی مدت و کمبود رطوبت در منطقه به وجود می آیند (باغبانان و قویدل ۲۰۲۰؛ سبقتی و همکاران ۲۰۱۶). افزون بر عامل های اقلیمی، نقش فعالیت های نامناسب انسانی مانند تغییر کاربری زمین و نابودی پوشش گیاهی نیز در بروز پدیده گرد و غبار قابل توجه است (افشاری و ولی ۲۰۲۴). رخدادهای گرد و غبار در ابتدا در مقیاس های محلی و کوچک شکل می گیرند، ولی برپایه شرایط باد، ویژگی های زمین ریخت شناسی منطقه و عامل هایی مانند خصوصیات فیزیکی خاک و چسبندگی ذرات خاک، می توانند در مقیاس های گسترده تری جابه جا شوند (بروغنی و پورهایشمی ۲۰۲۰؛ محمودی و ایکگایا ۲۰۲۳). این پدیده در بسیاری از نقاط جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک در حال گسترش بوده و امروزه به عنوان یکی از چالش های سلامتی و بهداشت بشر مطرح است (دی و همکاران ۲۰۲۵، نیرا و همکاران ۲۰۲۳). برپایه گزارش های سازمان های بین المللی بیش از ۱۵۰ کشور به شکل مستقیم تحت تأثیر توفان های گرد و غبار هستند که ۴۵ کشور به عنوان منشا این توفان ها شناخته شده اند (احمدی بیرگانی و ناصری ۲۰۲۳؛ اوپ و همکاران ۲۰۲۱). بیابان ها و زمین های خشک خاورمیانه و آسیای مرکزی پس از صحرای بزرگ آفریقا به عنوان دومین منبع اصلی انتشار گرد و غبار در جهان می باشند که حدود ۴۵٪ از انتشار جهانی گرد و غبار مربوط به آنهاست (عبادی و همکاران ۲۰۲۴). در جهان، منابع گرد و غبار از دیدگاه گستردگی، پراکنش، ترکیب

فیزیکی و شیمیایی ذرات گسیل شده از آن مناطق متنوع بوده و هر منبع گرد و غبار حاوی ذرات با ویژگی های منحصر به فرد است (کوک و همکاران ۲۰۲۱؛ احمدی بیرگانی و همکاران ۲۰۱۹). در این مناطق، خاک های خشک و فاقد پوشش گیاهی به طور مداوم تحت تأثیر بادهای شدید و فرساینده است؛ به طوری که حدود ۲۴٪ از زمین های زراعی و ۴۱٪ از زمین های مرتعی به طور مستقیم در معرض فرسایش بادی هستند (عواد ۲۰۲۳).

همچنین، توفان های گرد و غبار اثرات قابل توجهی بر محیط زیست، سلامت و بهداشت انسان، چرخه های زیست شیمیایی و تغییرات اقلیمی جهانی داشته و لزوم سازگاری و تعدیل اثرات آن بیش از پیش ضروری می باشد (سلیمانی و همکاران ۲۰۲۴؛ نیرا و همکاران ۲۰۲۳؛ زینعلی و همکاران ۲۰۲۳). از جمله پیامدهای ناشی از این توفان ها می توان به فرسایش بادی و تشدید روند بیابان زایی اشاره کرد که منجر به نابودی زمین، کاهش حاصل خیزی خاک، کاهش پوشش گیاهی و آسیب به محصولات کشاورزی می شود (رابینسون ۲۰۲۴؛ رستمی و همکاران ۲۰۲۳). افزون بر این، گرد و غبار معلق در هوا می تواند باعث بروز یا تشدید بیماری های تنفسی و قلبی، اختلال در حمل و نقل جاده ای و هوایی، آسیب به زیرساخت ها و خسارت های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی می شود (نیرا و همکاران ۲۰۲۳؛ میدلتون ۲۰۱۹).

امروزه بستر خشک دریاچه های شور داخلی به عنوان یکی از مهم ترین منابع گسیل گرد و غبار در دنیا به شمار می آیند (رَوَن و همکاران ۲۰۱۹). اگرچه در دهه های پیشین، منابع مهم گرد و غبار را رودهای خشک، دشت های سیلابی کم آب، تپه های ماسه ای، دلتاهای آبرفتی، کفه های رسی و نمکی بیابان و زمین های کشاورزی رها شده در مقیاس های محلی و منطقه ای تشکیل داده اند (عبادی و همکاران ۲۰۲۴؛ شریفی و همکاران ۲۰۱۸).

دریاچه های شور داخلی حدود نیمی از حجم و یک چهارم مساحت کل دریاچه های زمین را تشکیل می دهند. سطح آب آن ها تحت تأثیر تغییرات آب و

هوایی و فصلی، پیوسته در نوسان است. سطح آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل عامل‌هایی همچون کاهش بارش، افزایش دما به‌همراه سوءمدیریت منابع آبی و انحراف بیش از حد آب در پایین‌دست، به‌شکل قابل توجهی کاهش‌یافته است (گنگ و همکاران ۲۰۲۳؛ گبیرت-برانت و همکاران ۲۰۲۳؛ براد و همکاران ۲۰۲۲). زمانی که بستر خشک‌شده دریاچه‌های شور در معرض بادهای فرساینده باشند، افزون بر گسیل ذرات معلق در جو، مواد سمی و خطرناک موجود در این رسوبات نیز مانند سلیوم، جیوه، آرسنیک و دیگر فلزات سنگین می‌توانند به‌وسیله توفان‌های گرد و غبار کیلومترها جابه‌جا شده و کیفیت هوا را به‌شدت کاهش دهند (سلیمانی و همکاران ۲۰۲۴؛ هال و همکاران ۲۰۲۳؛ جی و همکاران ۲۰۱۹). از این‌رو، بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته در پژوهش‌های فرسایش بادی و گرد و غبار مانند تصویرهای ماهواره‌ای و مدل‌سازی‌های مکانی و زمانی امکان شناسایی دقیق منابع گرد و غبار و تحلیل روندهای زمانی آن‌ها را فراهم می‌آورد و به برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات هدفمند کمک می‌کند (احمدی بیرگانی ۲۰۲۵).

در پژوهش‌های مشابه، رشکی و همکاران (۲۰۲۱) مناطق اصلی تولید گرد و غبار ایران را با کاربرد سنجش از دور شناسایی کردند. این پژوهشگران، مکان‌های اصلی انتشار گرد و غبار در ایران را چاله جازموریان، بسترهای خشک تالاب‌های هامون و ارومیه، زمین‌های کشاورزی نابودشده و مناطقی که پوشش گیاهی آن‌ها بر اثر فعالیت‌های انسانی یا خشکسالی از بین رفته است، شناسایی کردند. برای پژوهش پدیده گرد و غبار از داده‌های ایستگاه‌های همدید هواشناسی و ایستگاه‌های خودکار سنجش کیفیت هوا استفاده می‌شود (یانگ و همکاران ۲۰۲۱، احمدی بیرگانی ۲۰۱۶). برپایه سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، در سامانه‌های ثبت رخدادهای هواشناسی، کدهای عددی ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ به پدیده گرد و غبار اختصاص داده شده‌اند (سازمان جهانی هواشناسی

۲۰۲۳). از سوی دیگر، فناوری سنجش از دور یکی از مؤثرترین روش‌ها برای پایش ذرات معلق در جو و هواویزها (آئروسول‌ها) به‌شمار می‌آید. در این روش با هزینه‌ای نسبتاً کم، امکان پوشش مکانی گسترده از مناطق فراهم شده و تغییرات مکانی و زمانی ذرات معلق جوی در مقیاس منطقه‌ای و حتی جهانی نشان‌داده می‌شود (احمدی بیرگانی ۲۰۲۵). امروزه، تصویرهای ماهواره‌ای مودیس (MODIS) به‌طور گسترده، به‌عنوان یکی از ابزارهای سنجش از دور با پوشش جهانی، برای شناسایی ویژگی‌های نوری هواویزها و ذرات معلق جوی به‌کار می‌روند (جیانگ و همکاران ۲۰۲۳). برای تشخیص قطر و غلظت ذرات معلق در جو و هواویزها، از محصولات مختلف سنجنده مودیس و الگوریتم‌های متنوعی استفاده می‌شود. ژرفای نوری هواویز (AOD)، یکی از محصولات سنجنده مودیس است که نشانگر اندازه نوری است که به‌وسیله هواویزها در فضا جذب یا پراکنده می‌شود. در سال‌های گذشته، الگوریتم جدید بازیابی هواویز یا مایاک (MAIAC)، توسعه‌یافته است (دی آنتونیو و همکاران ۲۰۲۳). این مدل مبتنی بر تعاملات فیزیکی میان جو و سطح زمین است که شاخص‌های آن از داده‌های چند زاویه‌ای ماهواره‌ای استخراج می‌شوند. استفاده از این محصول موجب افزایش دقت، صحت و بهبود کیفیت داده‌های بازیابی در سطح جهان شده است. حال با توجه به پیچیدگی و گستردگی داده‌های مرتبط با گرد و غبار، روش‌های داده‌کاوی به‌ویژه الگوریتم‌های خوشه‌بندی، ابزارهای مناسبی برای تحلیل و استخراج الگوهای پنهان در داده‌ها به‌شمار می‌آیند. داده‌کاوی، فرآیندی است که به‌منظور استخراج الگو از داده‌های گسترده، استفاده می‌شود (احمر و همکاران ۲۰۱۸). خوشه‌بندی یکی از روش‌های داده‌کاوی است که با گروه‌بندی داده‌ها برپایه ویژگی‌های مشابه، می‌توان الگوهای مکانی و زمانی را بهتر شناسایی کرد. روش الگوریتم خوشه‌بندی K-means، به‌دلیل سادگی، سرعت زیاد و قابلیت تطبیق با داده‌های بزرگ، در پژوهش‌های

محیطی کاربرد زیادی دارد (جهانی و همکاران ۲۰۲۳).

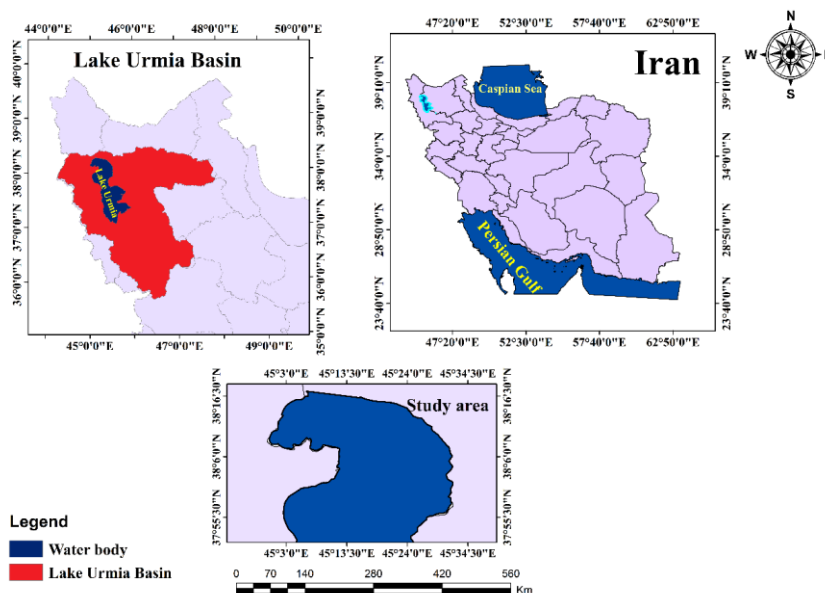
هدف این پژوهش، تحلیل روند زمانی و مکانی تغییرات فراوانی روزهای گرد و غبار در بخش شمالی دریاچه ارومیه در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و الگوریتم پیشرفته MAIAC به همراه داده‌های ایستگاه هواشناسی همدید شبستر بود. سپس، تحلیل آماری خوشه‌بندی انجام شد و الگوهای سالانه مشابه شناسایی و بررسی شدند و نقشه‌های توزیع مکانی-زمانی گرد و غبار در مقیاس منطقه‌ای رسم شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه‌شده

آبخیز دریاچه ارومیه یکی از شش آبخیز اصلی ایران و در شمال غرب کشور است. این آبخیز با مساحت تقریبی ۵۲۰۰۰ کیلومتر مربع، در میان سه استان آذربایجان غربی (۴۶٪)، آذربایجان شرقی (۴۳٪) و کردستان (۱۱٪) است. این آبخیز ۳/۱۵٪ از مساحت کل ایران را در بر می‌گیرد و حدود ۷٪ از آب‌های سطحی کشور را پوشش می‌دهد (قاسمی‌پور و همکاران ۲۰۲۴) (شکل ۱). بخش شمالی دریاچه ارومیه به دلیل موقعیت زمین‌شناسی/زمین-

ریخت‌شناسی و شرایط اقلیمی خاص، بیش از دیگر مناطق این آبخیز در معرض آسیب خشک شدن است (عبادی و همکاران ۲۰۲۲؛ احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۲۱). با خشک شدن بخش شمالی دریاچه ارومیه در سال‌ها و ماه‌های مختلف، به‌منظور درک بهتر از روند زمانی و مکانی شکل‌گیری و پراکندگی ذرات معنلق ناشی از بستر دریاچه ارومیه که نقش تأثیرگذاری بر بهبود مدیریت منابع آبی، کاهش آلودگی هوا و پیشگیری از بحران‌های زیست محیطی و بهداشتی دارد، مدل‌سازی و تعیین یک الگو پایدار در پژوهش‌های ذرات معلق جو در منطقه بیش از پیش ضروری است (عبادی و همکاران ۲۰۲۲). از سوی دیگر، بخش شمالی آبخیز دریاچه ارومیه به دلیل خشکی تدریجی دریاچه، با چالش‌های جدی در زمینه کشاورزی و امنیت غذایی مواجه است. افزایش شوری آب و خاک، کاهش دسترسی به منابع آبی و نابودی زمین‌های زراعی، باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی و افزایش آسیب‌پذیری کشاورزان شده است (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲). از این‌رو، در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با منابع آب، محیط زیست و تولید غذا، توجه ویژه به این ناحیه کاملاً ضروری است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی بخش شمالی دریاچه ارومیه.

Figure 1- Geographical location of the Lake Urmia northern part.

روش پژوهش

گردآوری و پردازش داده‌ها

در این پژوهش، داده‌های ماهواره‌ای مودیس در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۱ به منظور استخراج فراوانی روزهای گرد و غبار در منطقه مطالعه‌شده، استفاده شد. داده‌های مربوط به ژرفای نوری هواویز (AOD) با استفاده الگوریتم بازیابی هواویز مایاک (MAIAC) در سامانه گوگل ارث انجین (GEE) به‌طور سالانه پردازش و استخراج شد. سپس، تصویرهای محاسبه‌ای برپایه تعداد روزهای گرد و غبار در سال (فراوانی)، به چهار طبقه فراوانی کم (۵۰-۰ روز)، متوسط (۱۰۰-۵۰ روز)، زیاد (۱۵۰-۱۰۰ روز) و بسیار زیاد (بیش از ۱۵۰ روز) تقسیم‌بندی شدند. به‌منظور تحلیل توزیع مکانی و زمانی این داده‌ها، نقشه‌های فراوانی روزهای گرد و غبار با نرم‌افزار ArcMap نسخه ۱۰/۸ تهیه شد. شاخص‌های مهم این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

تحلیل خوشه‌بندی داده‌ها

برای تحلیل و دسته‌بندی داده‌های سالانه فراوانی روزهای گرد و غبار، از روش خوشه‌بندی K-Means در نرم‌افزار SPSS نسخه ۳۰ استفاده شد. در این پژوهش، برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها (K)، از روش تحلیل بصری مبتنی بر نمودار کاهش خطای خوشه‌بندی (Sum of Squared Errors - SSE) در نرم‌افزار SPSS نسخه ۳۰ استفاده شد. ابتدا الگوریتم K-Means برای اندازه‌های مختلف k اجرا شد. سپس، نمودار تغییرات SSE بر حسب تعداد خوشه‌ها رسم شد. با شناسایی نقطه شکست (Elbow point) در نمودار (یعنی جایی که کاهش خطا به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد) تعداد بهینه خوشه‌ها انتخاب شد. در پایان، نتایج خوشه‌بندی با استفاده از نقشه‌های به‌دست‌آمده از تصویرهای ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه هواشناسی همدید شبستر تحلیل و ارزیابی شدند تا کیفیت و

معناداری آن‌ها در چارچوب پژوهش بررسی شود. نقاط مرکزی هر خوشه به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس، داده‌های فراوانی روزهای گرد و غبار برای سال‌های مختلف، به خوشه‌ای با نزدیک‌ترین مرکز، اختصاص یافت. فاصله میان داده‌ها و مراکز خوشه‌ها با استفاده از فاصله اقلیدسی محاسبه شد (فرحان و هیکال ۲۰۲۴). در الگوریتم خوشه‌بندی K-Means، فاصله با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

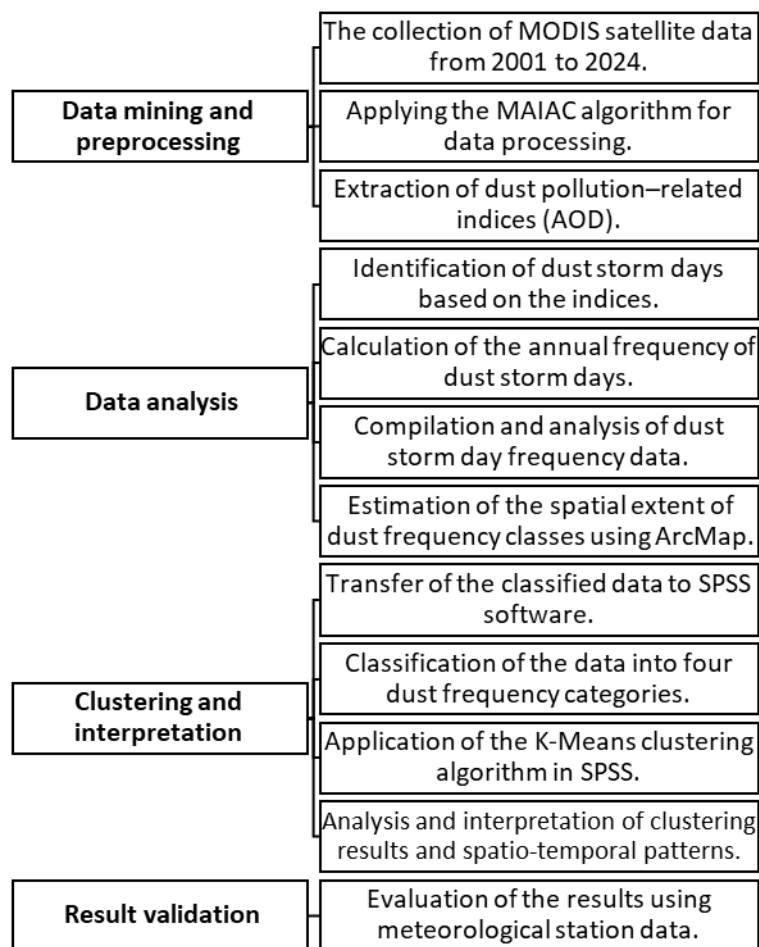
$$Dist_{xy} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (1)$$

در الگوریتم خوشه‌بندی K-Means، مرکز خوشه جدید با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$v_i = \left(\frac{1}{c_i}\right) \sum_1^{c_i} x_i \quad (2)$$

x_i : نشان‌دهنده داده i ام، n : تعداد کل داده‌ها، v_i : مرکز خوشه i ام، c یا k : تعداد خوشه‌ها، و c_i : تعداد داده‌های موجود در خوشه i ام است (سینگ و همکاران ۲۰۱۳).

پس از خوشه‌بندی اولیه، نقاط مرکزی هر خوشه با محاسبه میانگین داده‌های آن خوشه، به‌روزرسانی شد. این فرآیند تا زمانی ادامه یافت که تغییر قابل توجهی در خوشه‌ها مشاهده نشد. این تکرار تا رسیدن به همگرایی ادامه یافت. سپس، تحلیل خوشه‌ها انجام شد (فرحان و هیکال ۲۰۲۴). تاریخچه تکرارهای مراکز نهایی خوشه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. الگوریتم پس از دو تکرار به همگرایی رسید. همچنین، فاصله میان مراکز خوشه‌ها در جدول فاصله میان مراکز نهایی خوشه‌ها نسبتاً زیاد بود که نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری مناسب خوشه‌ها بود (جدول ۴). روند نمای انجام پژوهش در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- روندنمای انجام پژوهش.

Figure 2 - Flowchart of the present study.

جدول ۱- شاخص‌ها و روش‌های استفاده‌شده در تحلیل بلندمدت فراوانی رخدادهای گرد و غبار (۲۰۰۱-۲۰۲۴).

Table 1- Parameters and methods used in the long-term analysis of dust Storm frequency (2001–2024).

Parameter	Value	Description
Time Period	2001 – 2024	Long-term trend analysis of dust storm frequency
Data Type	Dust storm frequency	Includes number of days and aerosol optical depth
Atmospheric Correction Algorithm	MAIAC	Multi-angle atmospheric correction algorithm for improved accuracy
Spatial Analysis Software	ArcMap	Creating maps of distribution and frequency of dust storm days
Clustering Method	K-Means test	Data structure analysis using SPSS version 26
Dust Storm Frequency Classification	Low: 0 – 50 days Medium: 50 – 100 days High: 100 – 150 days Very High: X > 150 days	Classification based on number of dust storm days

جدول ۲- تکرار مراکز نهایی خوشه‌های طبقات فراوانی گرد و غبار استخراج‌شده.

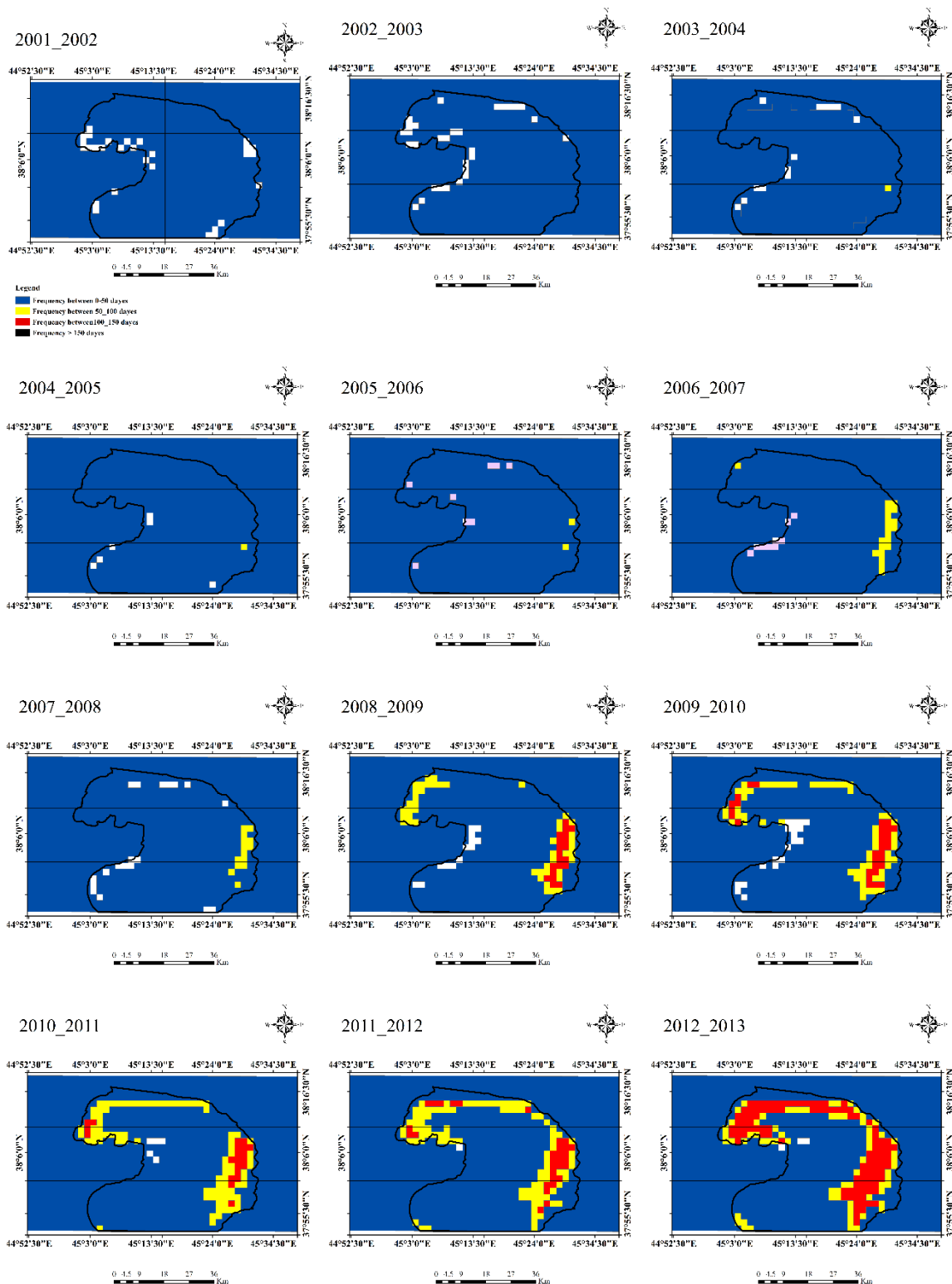
Table 2- Iteration history of final cluster centers for dust frequency categories.

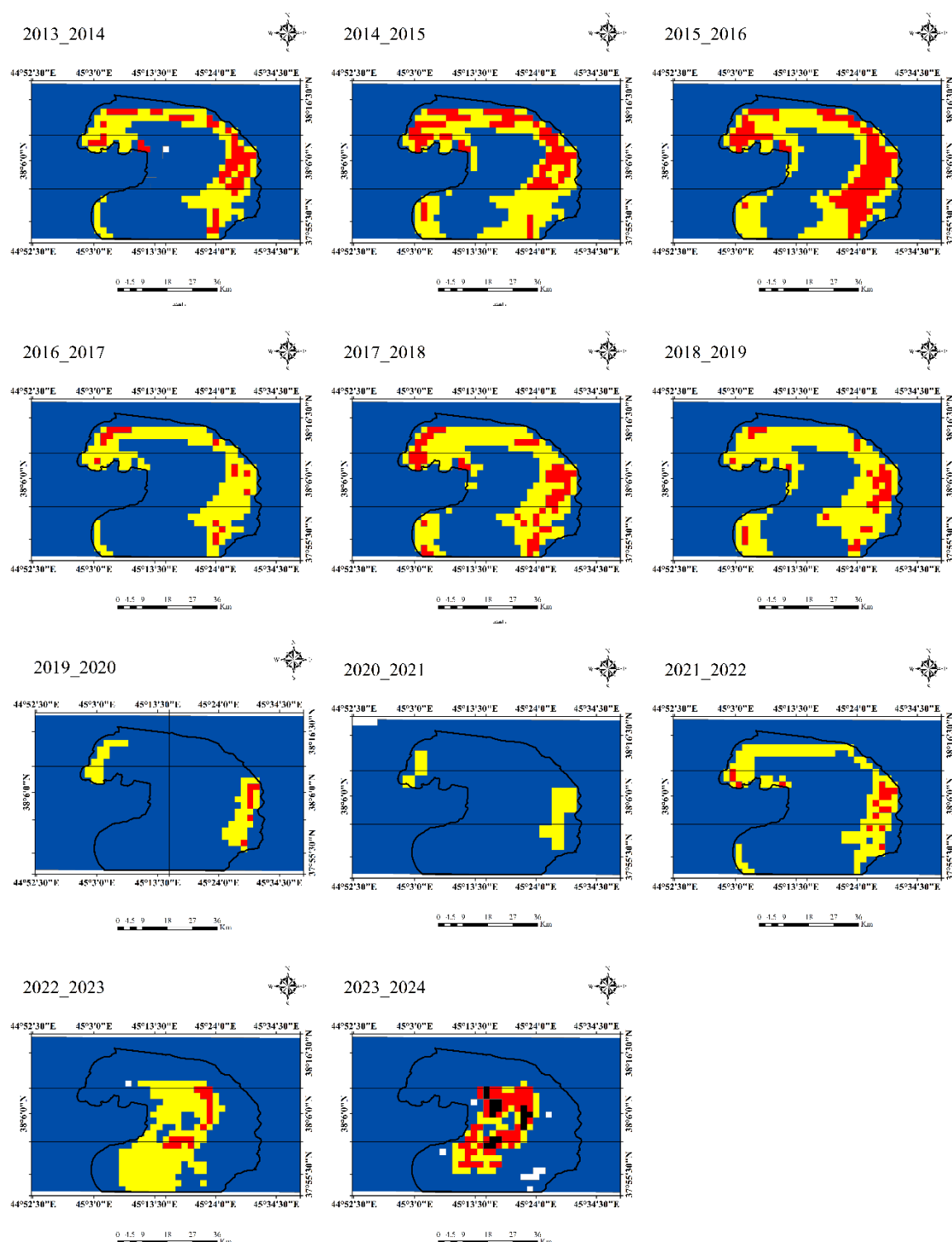
Iteration	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
1	8770.939	4444.559	11037.749	8371.606	7067.004
2	0	0	0	0	0

نتایج و بحث

زمانی و مکانی رویدادهای گرد و غبار در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ رسم شد (شکل ۳).

برپایه نقشه‌های طبقه‌بندی فراوانی گرد و غبار در بخش شمالی دریاچه ارومیه، روند تغییرات





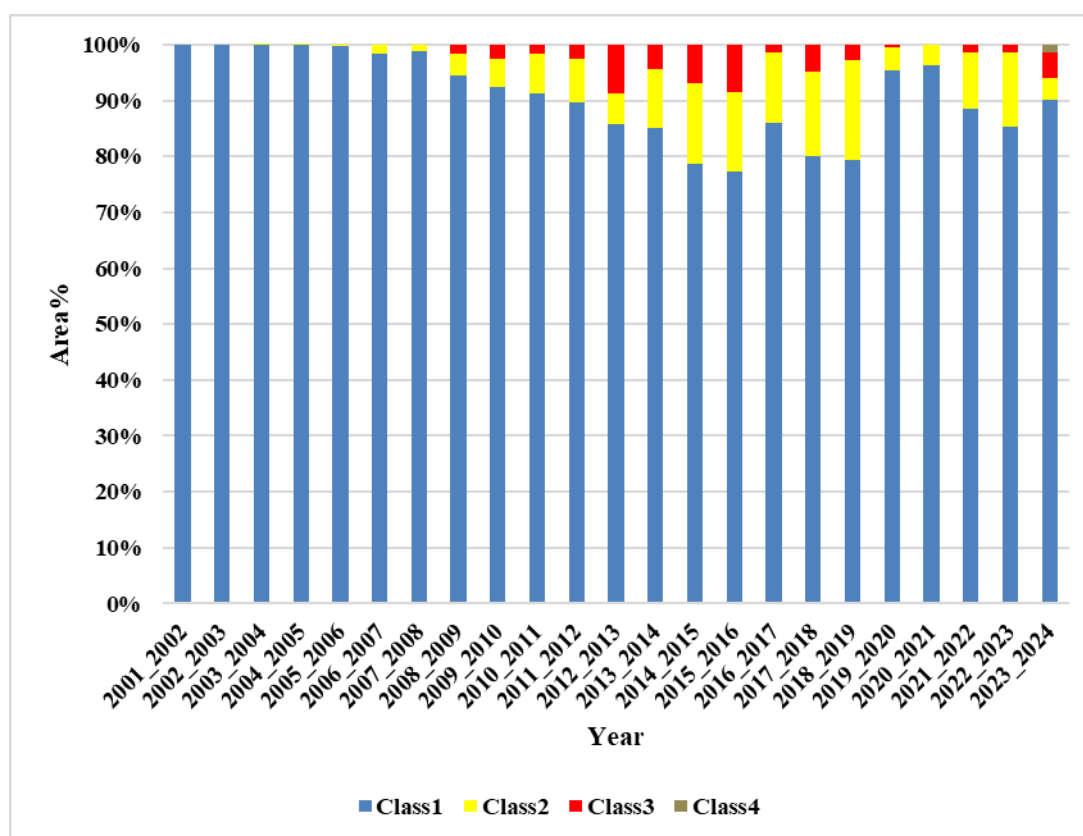
شکل ۳- نقشه زمانی-مکانی فراوانی روزهای گرد و غبار در بخش شمالی دریاچه ارومیه (۲۰۰۱-۲۰۲۴).
Figure 3- Map of spatio-temporal dust storm frequency over the Lake Urmia northern part (2001-2024).

طبقه فراوانی متوسط در حاشیه شرقی دریاچه مشاهده شد. از سال ۲۰۰۹، طبقه فراوانی زیاد گرد و غبار مربوط به شرق و غرب منطقه مطالعه‌شده (حدود

برپایه نتایج این پژوهش از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹، فراوانی خیلی کم گرد و غبار مربوط به بخش شمالی دریاچه ارومیه بود و از سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹،

طبقه فراوانی متوسط از ۱۸٪ به ۶/۳٪ کاهش یافت. درصد مساحت طبقه فراوانی زیاد از ۳٪ به صفر رسید. در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ طبقه فراوانی کم گرد و غبار در به طور چشمگیری در سطح منطقه افزایش یافت. در این دوره درصد مساحت طبقه فراوانی متوسط از ۱۸٪ به ۶/۳٪ کاهش یافت و درصد مساحت طبقه فراوانی زیاد از ۳٪ به صفر رسید. سپس، از سال ۲۰۲۲ تا سال ۲۰۲۴ طبقه‌های فراوانی متوسط و زیاد در منطقه دوباره افزایش یافت. در این دوره درصد مساحت طبقه فراوانی زیاد به ۸/۴٪ و درصد مساحت طبقه فراوانی متوسط به ۹/۳٪ رسید. این تغییرات بیشتر مربوط به مرکز پهنه آبی دریاچه ارومیه بود (شکل‌های ۳ و ۴).

۱/۷٪)، بود. در حالی‌که از سال ۲۰۰۹ فراوانی طبقه‌های زیاد در غرب و شرق دریاچه گسترش یافتند. طبقه‌های فراوانی متوسط و زیاد به سمت شمال توسعه یافتند و بر نواحی بیشتری اثرگذار بودند. در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۲ مساحت تحت تأثیر طبقه با فراوانی زیاد در شمال، شرق و غرب افزایش چشمگیری (۶/۸٪) داشت. سپس، از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ به‌مرور طبقه فراوانی گرد و غبار زیاد به آرامی کاهش (۲/۷٪) یافت و طبقه فراوانی متوسط گرد و غبار، کمی افزایش یافت. این طبقه در بیشتر نقاط پیرامون دریاچه گسترش یافت. در طول این سال‌ها درصد مساحت طبقه فراوانی متوسط از ۵٪ به ۱۹٪ افزایش یافت. میان سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۹ طبقات فراوانی متوسط و زیاد روزهای گرد و غبار، به‌طور محسوسی کاهش یافت. در این دوره درصد مساحت



شکل ۴- سهم نسبی مساحت مربوط به هر یک از چهار طبقه فراوانی گرد و غبار در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴.

Figure 4- The relative proportion of area in each dust frequency class (2001 to 2024).

که هر یک نمایانگر الگوهای خاصی از فراوانی و پراکنش گرد و غبار مبتنی بر تغییرات اقلیمی و

برپایه نتایج خوشه‌بندی، سال‌های مختلف از دیدگاه فراوانی گرد و غبار به پنج گروه متمایز تقسیم شدند

خاک‌شناسی محدوده مطالعه‌شده بودند. نتایج خوشه‌بندی به این شرح است:

الف: خوشه ۱: سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۸ و سال ۲۰۲۴-۲۰۲۳

ب: خوشه ۲: سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۴ و ۲۰۱۶-۲۰۱۵

ج: خوشه ۳: سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۳، ۲۰۱۷-۲۰۱۶، ۲۰۲۲-۲۰۲۱ و ۲۰۲۳-۲۰۲۲

د: خوشه ۴: سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱، ۲۰۲۰-۲۰۱۹ و ۲۰۲۱-۲۰۲۰

ه: خوشه ۵: سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۷ و ۲۰۱۹-۲۰۱۸

تفکیک نتایج خوشه‌بندی بیانگر وجود روندهای زمانی و مکانی معنادار در فراوانی و پراکنش گرد و غبار در منطقه مطالعه‌شده در سال‌های خاص بود. از این نتایج می‌توان به‌عنوان مبنایی برای تحلیل روندهای زیست محیطی و طراحی راهبردهای بهینه مدیریت و کاهش مخاطره‌های ناشی از گرد و غبار استفاده کرد. برای تبیین ویژگی‌های هر خوشه از نتایج جدول ۳ که بیانگر مرکز نهایی خوشه‌ها است، استفاده شد. در تحلیل انجام‌شده، بیشترین میانگین طبقه فراوانی کم مربوط به خوشه دوم بود. این یافته بیانگر آن بود که اندازه گرد و غبار دوره‌های عادی کم است. از سوی دیگر، بیشترین میانگین طبقه فراوانی زیاد و کمترین میانگین طبقه‌های فراوانی متوسط و کم مربوط به خوشه چهارم بود. این یافته مربوط به سال‌های با فراوانی گرد و غبار شدید است. همچنین، بررسی فاصله میان مراکز خوشه‌ها نشان داد بیشترین فاصله مربوط به خوشه ۲ و خوشه ۴ بود. می‌توان نتیجه گرفت تفاوت‌های گسترده‌ای در ماهیت و شدت پدیده گرد و غبار میان این دو خوشه وجود دارد. در جدول ۴ فاصله مراکز خوشه‌ها ارائه‌شده است. این تفاوت‌ها بیانگر وجود تفاوت‌های قابل‌توجه در بروز و شدت پدیده گرد و غبار در این دو خوشه است.

تفاوت‌های معنادار در فراوانی و شدت گرد و غبار میان خوشه‌ها ناشی از تأثیر هم‌زمان عامل‌های پرشماری شامل تغییرات اقلیمی (مانند نوسانات بارش و دما)، ویژگی‌های زمین‌شناسی در آن بخش دریاچه، فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری زمین، کاهش پوشش گیاهی، توسعه صنعتی و کشاورزی است. این عامل‌ها، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، بر فرآیند تولید، انتقال و پراکنش گرد و غبار و فراوانی آن در منطقه تأثیر بسزایی دارند. با این وجود، برای تعیین دقیق نقش و سهم هر یک از این عامل‌ها در الگوهای مشاهده‌شده، نیاز است که در آینده پژوهش‌های جامع‌تر با داده‌های محیطی، اقلیمی و اجتماعی تکمیلی انجام شود. همچنین به‌منظور انجام صحت‌سنجی خوشه‌بندی، تحلیل پراکنش (ANOVA) میان خوشه‌ها در هر طبقه فراوانی رخدادهای گرد و غبار انجام شد. نتایج نشان داد که در سه خوشه اول (فراوانی‌های کم، متوسط و زیاد)، تفاوت‌های متغیرها از دیدگاه آماری معنادار و اندازه معناداری ($\text{Sig. } 0.05 >$) کمتر از ۰/۰۵ بود. این یافته بیانگر تفکیک موفق و وجود ساختار قابل تمایز میان این خوشه‌ها در هر طبقه فراوانی رخدادهای گرد و غبار بود. از سوی دیگر، در خوشه چهارم (طبقه فراوانی بسیار زیاد) تفاوت‌های متغیرها از دیدگاه آماری معنادار نبود ($\text{Sig. } = 0.624$). دلیل این یافته وجود فقط یک سال (۲۰۲۴-۲۰۲۳) از این طبقه فراوانی است. همچنین، اندازه‌های زیاد آماره F در سه خوشه اول، تأییدی بر تفاوت معنادار میان خوشه‌ها به‌شمار می‌آید. این نتایج به همراه فاصله قابل توجه میان مراکز خوشه‌ها، نشان‌دهنده صحت و اعتبار قابل قبول خوشه‌بندی انجام‌شده، بود (جدول ۵).

جدول ۳- مراکز نهایی خوشه‌های طبقات فراوانی گرد و غبار استخراج‌شده.

Table 3- Final Cluster Centers of Dust Frequency Classes.

Cluster/class	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
1	344950	20996	13872	837.51
2	299244	54728	29491	0
3	330201	44448	8320.8	0
4	373620	4572.3	244.37	0
5	305488	63260	14710	0

جدول ۴- بررسی تمایز خوشه‌ها در طبقات فراوانی گرد و غبار بر پایه فواصل میان مرکز.

Table 4- Analysis of cluster differentiation in dust frequency classes based on inter-Centroid Distances.

Cluster Pair	Distance
Cluster 1 & 2	58919.601
Cluster 1 & 3	28266.807
Cluster 1 & 4	35750.896
Cluster 1 & 5	57833.996
Cluster 2 & 3	38887.492
Cluster 2 & 4	94354.365
Cluster 2 & 5	18173.027
Cluster 3 & 4	59501.763
Cluster 3 & 5	31708.456
Cluster 4 & 5	91078.677

جدول ۵- نتایج تحلیل پراکنش (ANOVA) برای مقایسه میانگین فراوانی گرد و غبار در خوشه‌های به‌دست آمده از آزمون K-means
Table 5- Analysis of variance (ANOVA) for comparing mean dust frequencies in the clusters obtained by the K-Means test.

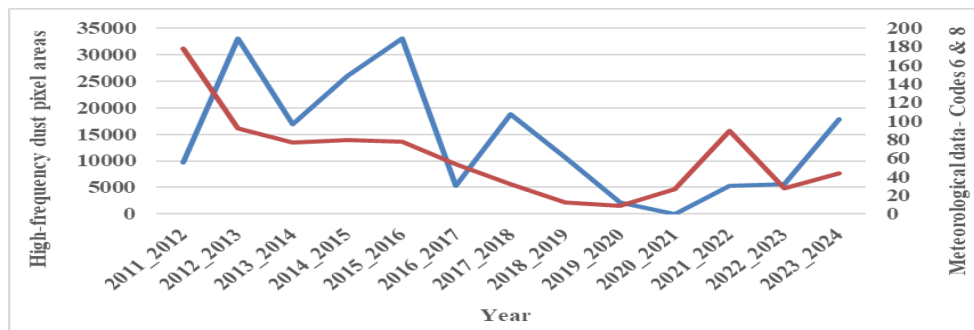
	Cluster		Error		F	Sig.
	Mean Square	Df	Mean Square	df		
class1	3881104225	4	46035871.8	18	84.306	0
class2	2514575767	4	37029665	18	67.907	0
class3	434790229	4	38109253.7	18	11.409	0
class4	777655.984	4	1169025.34	18	0.665	0.624

فرآیند اعتبارسنجی شامل مقایسه تعداد رخدادهای گرد و غبار ثبت‌شده در هر سال با مساحت پیکسل‌های طبقه فراوانی زیاد در داده‌های سنجش از دور بود (در نقشه‌های به‌دست آمده پیکسل‌ها به رنگ قرمز بودند). این مقایسه به‌منظور بررسی اندازه هم‌خوانی و همبستگی میان مشاهددهای زمینی و داده‌های سنجش از دور انجام شد. نتایج مقایسه تعداد رخدادهای گرد و غبار ثبت‌شده در هر سال (کدهای هواشناسی ۵، ۶ و ۸) با مساحت پیکسل‌های طبقه فراوانی زیاد در داده‌های سنجش از دور نشان داد که از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ اطلاعات به‌دست آمده از سنجش از دور با مشاهددهای زمینی

به‌منظور اعتبارسنجی داده‌های سنجش از دور به‌دست آمده از الگوریتم مایاک، از داده‌های هواشناسی مربوط به کدهای گرد و غبار شامل کد ۵ (وجود مه‌دود یا غبار ریز که دید را کاهش می‌دهد)، کد ۶ (گرد و غبار گسترده‌ای که از جای دیگری آمده و در هوا معلق است، ولی در محل ایستگاه باد آن را بلند نکرده است) و کد ۸ (گردباد یا چرخش‌های محلی گرد و غبار که پیرامون ایستگاه دیده می‌شوند، اما طوفان گرد و غبار کامل نیستند) استفاده شد. این داده‌ها از ایستگاه همدیدی شبستر که نزدیک‌ترین ایستگاه همدیدی در شمال دریاچه ارومیه بود، تهیه شد. این داده‌ها از سال ۲۰۱۲ در دسترس هستند.

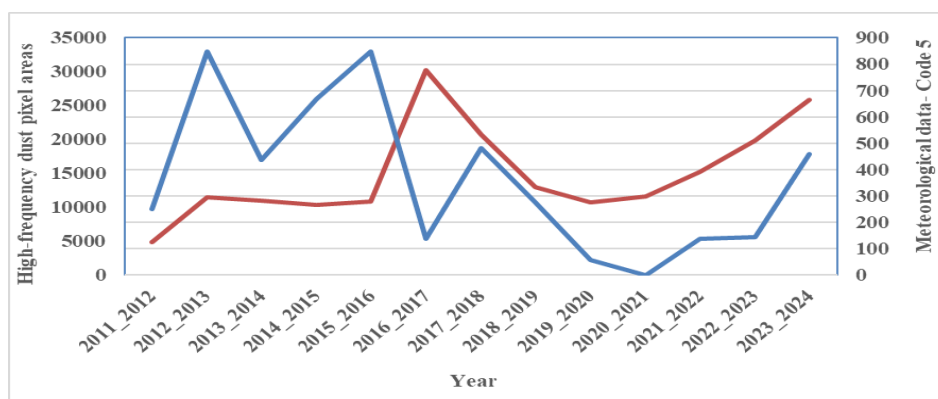
دور و هواشناسی مربوط به کدهای ۶ و ۸ بیانگر آن بود که فقط میان داده‌های سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ همبستگی قابل قبول بود (شکل ۶).

همبستگی نداشت. از سوی دیگر، همبستگی در سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ نسبتاً قابل قبول بود (شکل ۵). همچنین، نتایج بررسی داده‌های سنجش از



شکل ۵- مقایسه تعداد رخدادهای گرد و غبار ثبت‌شده در هر سال (کد ۵ هواشناسی در ایستگاه شبستر) با مساحت پیکسل‌های طبقه فراوانی زیاد در داده‌های سنجش از دور.

Figure 5- Comparison of the number of recorded dust events per year (meteorological code 5 at Shabestar station) with the area of high-frequency class pixels in remote sensing data.



شکل ۶- مقایسه تعداد رخدادهای گرد و غبار ثبت‌شده در هر سال (کدهای ۶ و ۸ هواشناسی در ایستگاه شبستر) با مساحت پیکسل‌های طبقه فراوانی زیاد در داده‌های سنجش از دور.

Figure 6- Comparison of the number of recorded dust events per year (meteorological codes 6 & 8 at Shabestar station) with the area of high-frequency class pixels in remote sensing data.

بیرگانی و همکاران (۲۰۲۵)، (۲۰۲۱) و (۲۰۲۰) و رَوَن و همکاران (۲۰۲۲) و (۲۰۱۹) هماهنگی دارد. برپایه همبستگی ضعیف و نبود ارتباط معنادار تعداد روزهای گرد و غبار در ایستگاه هواشناسی شبستر در نزدیک-ترین نقطه به حاشیه شمالی دریاچه ارومیه و فراوانی گرد و غبار در سال‌های متفاوت، مشخص شد که اندازه انتقال ذرات گرد و غبار به فاصله‌های دور امکان‌پذیر نیست و گرد و غبار گسیل‌شده از بستر خشک دریاچه ارومیه در فاصله بسیار کمی از نقطه برخاست خود فرو

نتایج این پژوهش نشان داد یکی از شاخص‌ترین مناطق با بیشترین فراوانی گرد و غبار در سطح آبخیز دریاچه ارومیه، حاشیه شمالی این دریاچه بود. عملکرد این دریاچه در سال‌های مختلف و به دلیل عامل‌های اقلیمی، زمین‌شناختی و خاک‌شناختی گوناگون، در گسیل گرد و غبار، متفاوت بود. افزون بر این، کاهش سطح آب دریاچه ارومیه از اواخر دهه ۱۹۹۰ تا به امروز منجر به افزایش قابل توجه تعداد روزهای توفانی با گرد و غبار در منطقه شد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های احمدی

تصمیم‌گیری‌های مطلوبی در سطح محلی و منطقه‌ای انجام شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منفعی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، تحلیل‌های داده‌های هواشناسی، نگارش نسخه اولیه مقاله

نویسنده دوم: مفهوم‌سازی، ایده‌پردازی، اقدامات و تحلیل‌های سنجش از دوری، ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج

می‌نشینند و به دوردست منتقل نمی‌شود. این نتایج با یافته‌های احمدی بیرگانی و همکاران (۲۰۲۳) هم‌راستا است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج بررسی فراوانی مکانی و زمانی پدیده گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ در حاشیه شمالی دریاچه ارومیه نشان داد که تغییرات سالانه فراوانی روزهای گرد و غبار در منطقه نامبرده، چشم‌گیر بود. از این‌رو، نقش عامل‌های اقلیمی، زمین‌شناختی، خاک‌شناسی و محیطی حائز اهمیت است. نتایج این پژوهش بیانگر ضرورت پایش مستمر و به‌روزرسانی داده‌ها در منطقه نامبرده است تا روند آسیب‌زای رخداد‌های گرد و غبار در منطقه به موقع شناسایی و مدیریت شوند. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود از نتایج این پژوهش برای طراحی راهبردهای مدیریتی و کاهش مخاطره‌های زیست‌محیطی در منطقه استفاده شود تا

فهرست منابع

- Abadi ARS, Hamzeh NH, Shukurov K, Opp C, Dumka UC. 2022. Long-term investigation of aerosols in the Urmia Lake region in the Middle East by ground-based and satellite data in 2000–2021. *Remote Sensing*. 14(15):3827. <https://doi.org/10.3390/rs14153827>
- Abadi ARS, Shukurov KA, Hamzeh NH, Kaskaoutis DG, Opp C, Shukurova LM, Ghasabi Z. 2024. Dust events over the Urmia Lake Basin, NW Iran, in 2009–2022 and their potential sources. *Remote Sensing*. 16(13): 2384. <https://doi.org/10.3390/rs16132384>
- Afshari M, Vali A. 2024. Application of Maximum Entropy Model and Remote Sensing Technique to predict susceptible areas to dust storms in Isfahan Province, Iran. *ECOPERSIA*, 12(1): 25–37.
- Ahmady-Birgani H. 2025. Conceptualizing dust emission areas and hotspots over the Aeolian landforms via remote-sensing aerosol algorithms (Case study: Lake Urmia, a major hypersaline lake in the Middle East). *Geoscience Letters*, 12(1):28. <https://doi.org/10.1186/s40562-025-00287-4>
- Ahmady-Birgani, H., Ravan, P., Yao, Z., & Afrasinei GM. 2023. Understanding saline lake sand dunes dynamics: Coupling remote sensing techniques and field studies. *Catena*. 232:107424. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107424>
- Ahmady-Birgani H, Naseri HR. 2023. Deserts, sand dunes and sand seas of Iran. In *Sand Dunes of the Northern Hemisphere: Distribution, Formation, Migration and Management*. CRC Press. pp. 219–234.
- Ahmady-Birgani H, Ravan P, Schlosser JS, Cuevas-Robles A, Azadi-Aghdam M, Sorooshian A. 2021. Is there a relationship between Lake Urmia saline lakebed emissions and wet deposition composition in the Caucasus region? *ACS Earth and Space Chemistry*. 5(10): 2970–2985. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.1c00205>
- Ahmady-Birgani H, Ravan P, Schlosser JS, Cuevas-Robles A, Azadi-Aghdam M, Sorooshian A. 2020. On the chemical nature of wet deposition over a major desiccated lake: Case study for Lake Urmia basin. *Atmospheric Research*. 234: 104762. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104762>
- Ahmady-Birgani H, Engelbrecht J, Bazgir M. 2019. How different source regions across the Middle East change aerosol and dust particle characteristics. *Desert*. 24(1):61–73. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2019.72441>

- Ahmady-Birgani H, Feiznia S. 2016. Chemical composition of TSP dust-sized as an indicator in geochemical fingerprinting of sediments. *Journal of Natural Environment*. 69(2):283–301. <https://doi.org/10.22059/jne.2016.59750>
- Ahmady-Birgani H, Mosavi S, Sani S. 2016. The impact of meteorological parameters on SO₂ pollutant accumulation over Urmia City. *Environment and Water Engineering*. 1(1):95–110.
- Ahmar AS, Napitupulu D, Rahim R, Hidayat R, Sonatha Y, Azmi M. 2018. Using K-means clustering to cluster provinces in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*. 1028: 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012006>
- Awadh SM. 2023. Impact of North African sand and dust storms on the Middle East using Iraq as an example: Causes, sources, and mitigation. *Atmosphere*. 14(1): 180. <https://doi.org/10.3390/atmos14010180>
- Baghbanan P, Ghavidel Y, Farajzadeh M. 2020. Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 132(6): 885–898. <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00722-z>
- Boroughani M, Pourhashemi S, Hashemi H, Salehi M, Amirahmadi A, Asadi MAZ, Berndtsson R. 2020. Application of remote sensing techniques and machine learning algorithms in dust source detection and dust source susceptibility mapping. *Ecological Informatics*. 56:101059. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101059>
- Borda LG, Cosentino NJ, Iturri LA, Garcia MG, Gaiero DM. 2022. Is dust derived from shrinking saline lakes a risk to soil sodification in southern South America? *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 127(4): e2021JF006585. <https://doi.org/10.1029/2021JF006585>
- Dey R, Sharma SB, Thakkar MG, Sarangi RK, Chowdhury A, Naz A. 2025. Phosphorus transitions driven by cyclone Biparjoy linked Middle East–North Africa (MENA) and Indian Thar Desert dust storm pathways in Asia's largest grassland. *Scientific Reports*. 15(1): 4321. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-41358-1>
- Di Antonio L, Di Biagio C, Foret G, Formenti P, Siour G, Doussin JF, Beekmann M. 2023. Aerosol optical depth climatology from the high-resolution MAIAC product over Europe: Differences between major European cities and their surrounding environments. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 23(19): 12455–12475. <https://doi.org/10.5194/acp-23-12455-2023>
- Farhan M, Heikal J. 2024. Used car customer segmentation using k-means clustering model with SPSS: Case study Caroline. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*. 5(03): 543–559. <https://doi.org/10.36084/jiss.v5i03>
- Feizizadeh B, Lakes T, Omarzadeh D, Sharifi A, Blaschke T, Karimzadeh S. 2022. Scenario-based analysis of the impacts of lake drying on food production in the Lake Urmia Basin of Northern Iran. *Scientific Reports*. 12(1): 6237. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10226-2>
- Ghasempour R, Aalami MT, Saghebian SM, Kirca VO. 2024. Analysis of spatiotemporal variations of drought and soil salinity via integrated multiscale and remote sensing-based techniques (Case study: Urmia Lake Basin). *Ecological Informatics*. 81: 102560. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102560>
- Gibert-Brunet E, Tudryn A, Kong T, Tucholka P, Motavalli-Anbaran SH, Marlin C, Karimi G. 2023. Salt wedges and trapped brines of low-latitude endoreic saline lakes as potential modulators of GHG emission. *Scientific Reports*. 13(1): 21118. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48052-9>
- Ge Y, Abuduwaili J, Ma L. 2019. Lakes in arid land and saline dust storms. *E3S Web of Conferences*. 99: 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199901007>
- Hall DK, Kimball JS, Larson R, DiGirolamo NE, Casey KA, Hulley G. 2023. Intensified warming and aridity accelerate terminal lake desiccation in the Great Basin. *Earth and Space Science*. 10(1): e2022EA002630. <https://doi.org/10.1029/2022EA002630>
- Jahani Y, Jambarsang S, Bahrampour A. 2023. Longitudinal data clustering methods: A systematic review. *Journal of Biostatistics and Epidemiology*. 9(4): 396–411.
- Jiang J, Liu J, Jiao D, Zha Y, Cao S. 2023. Evaluation of MODIS DT, DB, and MAIAC aerosol products over different land cover types in the Yangtze River Delta of China. *Remote Sensing*. 15(1): 275. <https://doi.org/10.3390/rs15010275>
- Kok JF, Adebisi AA, Albani S, Balkanski Y, Checa-Garcia R, Chin M, Wan JS. 2021. Contribution of the world's main dust source regions to the global cycle of desert dust. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 21(10): 8169–8193. <https://doi.org/10.5194/acp-21-8169-2021>
- Kong T, Tudryn A, Gibert-Brunet E, Tucholka P, Motavalli-Anbaran SH, Lankarani M, Dufaure O. 2023. Sediment flux and early diagenesis inferred from high-resolution XRF-CS data and iron and arsenic sulfides during the last 30 kyr in Lake Urmia, Iran. *Sedimentary*

- Geology. 453: 106450.
<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106450>
- Mahmoudi L, Ikegaya N. 2023. Identifying the distribution and frequency of dust storms in Iran based on long-term observations from over 400 weather stations. Sustainability. 15(16):12294.
<https://doi.org/10.3390/su151612294>
- Middleton N. 2019. Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. Geosciences. 9(6): 261.
<https://doi.org/10.3390/geosciences9060261>
- Neira M, Erguler K, Ahmady-Birgani H, Al-Hmoud ND, Fears R, Gogos C, Christophides G. 2023. Climate change and human health in the Eastern Mediterranean and Middle East: Literature review, research priorities and policy suggestions. Environmental Research. 216: 114537.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114537>
- Opp C, Groll M, Abbasi H, Foroushani MA. 2021. Causes and effects of sand and dust storms: What has past research taught us? A survey. Journal of Risk and Financial Management. 14(7): 326.
<https://doi.org/10.3390/jrfm14070326>
- Rashki A, Middleton NJ, Goudie AS. 2021. Dust storms in Iran—Distribution, causes, frequencies and impacts. Aeolian Research. 48: 100655.
<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>
- Ravan P, Ahmady-Birgani H, Solomos S, Yassin MF, Abasalizadeh H. 2022. Wet scavenging in removing chemical compositions and aerosols: A case study over the Lake Urmia. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 127(6): e2021JD035896.
<https://doi.org/10.1029/2021JD035896>
- Ravan P, Ahmady-Birgani H, Sorooshian A. 2019. Spatial mapping of elemental variabilities of atmospheric particulates throughout the Lake Urmia basin. Journal of the Earth and Space Physics. 45(3): 667–686.
<https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.268885.1007097>
- Robinson MC, Schueth K, Ardon-Dryer K. 2024. Spatial, temporal, and meteorological impact of the 26 February 2023 dust storm: Increase in particulate matter concentrations across New Mexico and West Texas. Atmospheric Chemistry and Physics. 24(23): 13733–13750. <https://doi.org/10.5194/acp-24-13733-2024>
- Rostami S, Alijanpour A, Banj Shafiei A, Ahmady-Birgani H, Beygi Heidarlou H. 2023. Investigation on biological activities for combating desertification in the western shores of Lake Urmia, Northwest Iran. Journal of Arid Land. 15(3): 297–309.
<https://doi.org/10.1007/s40333-023-0094-1>
- Sebghati M, Ahmady-Birgani H, Moghaddam A. 2016. The calculation of continuity and intensity of droughts using Modified SPEI Index (Case study: Tabriz and Urmia Cities). Environment and Water Engineering. 2(2): 188–195.
- Sharifi A, Murphy LN, Pourmand A, Clement AC, Canuel EA, Beni AN, Ahmady-Birgani H. 2018. Early-Holocene greening of the Afro-Asian dust belt changed sources of mineral dust in West Asia. Earth and Planetary Science Letters. 481: 30–40.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.10.009>
- Singh A, Yadav A, Rana A. 2013. K-means with three different distance metrics. International Journal of Computer Applications. 67(10):13–17. <https://doi.org/10.5120/11430-6785>
- Soleimani A, Atafar Z, Nemati-Mansour S, Ahmed M, Ahmady-Birgani H, Ravan P, Miri M, Mohammadi A. 2024. Impact of PAHs compounds on air quality in Maragheh City: Probabilistic risk assessment and source apportionment. Toxicology Reports. 13: 101686.
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101686>
- World Meteorological Organization. 2023. WMO Airborne Dust Bulletin No. 7 – September 2023. Geneva: World Meteorological Organization.
- Yang L, Hu Z, Huang Z, Zhang Y, Hu M. 2023. Regional and seasonal variation of dust aerosol over North Africa and the Middle East: Analysis based on satellite data and ground measurements. Atmospheric Environment. 296: 119733.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119733>
- Zeinali B, Juq FVG, Teymouri M, Das S, Ruhi F, Sihag P. 2023. Selection of the best clustering technique in order to zone the frequency of dust storms in Iran. Arabian Journal of Geosciences. 16(1):11389.
<https://doi.org/10.1007/s12517-022-11389-7>
- Zhang L, Zhang H, Cai X, Song Y, Mamtimin A, He Q. 2024. Physical mechanisms of deep convective boundary layer leading to dust emission in the Taklimakan Desert. Geophysical Research Letters. 51(10): e2024GL108521.
<https://doi.org/10.1029/2024GL108521>



Assessment of Dust Event Frequency in the North Lake Urmia Based on MAIAC-Derived Aerosol Retrievals

Maryam Fathi¹, **Hesam Ahmady Birgani*²**

1- Masters' Student, Rangeland and Watershed Management Group, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Dust storms, as one of the major environmental hazards, have widespread impacts on human health, agriculture, and ecosystem sustainability. In recent years, the incidence of this phenomenon has increased significantly in the areas surrounding Lake Urmia, particularly in the northern parts. This trend is due to numerous factors, the most important of which is the widespread drying of the bed of Lake Urmia following a severe reduction in water resources and climate change. The decrease in the amount of water entering the lake and the increase in evaporation duo to climatic change have caused the water level to drop and a large portion of the lake bed to become visible. Today, this dried bed serves as a source of dust particles in the region, with many claims being made about the dust it causes to the surrounding environment. Therefore, accurate monitoring and spatiotemporal trends of dust storm on the northern margin of Lake Urmia is a great importance for adopting management measures and environmental policies. Given the importance of accurate monitoring of this phenomenon, the use of remote sensing technologies and atmospheric correction algorithms such as MAIAC allows for more accurate and up-to-date analyses. In this regard, the main objective of this research was to analyze the temporal and spatial patterns trends in the frequency of dust day on the northern Lake Urmia during the period 2001 to 2024 using MAIAC-corrected dust algorithm data. Using the results of this research, understanding of the processes affecting dust generation and transport has been improved and appropriate management strategies can be provided to reduce its negative effects.

Materials and Methods

In this study, moderate resolution MODIS satellite images were collected between 2001 and 2024 for the northern margin of Lake Urmia. By utilizing the high capability of the Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction (MAIAC) in accurately separating airborne particles, dusty days were identified.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** h.ahmadybirgani@urmia.ac.ir

Citation: Fathi, M., Ahmady Birgani, H. 2026. Assessment of Dust Event Frequency in the North Lake Urmia Based on MAIAC-Derived Aerosol Retrievals. Watershed Management Research. 38 (4):128-145.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.369926.1627

Received: 04 July 2025, **Received in revised form:** 31 August 2025, **Accepted:** 22 September 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol. 38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp. 128-145.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



The extracted data were analyzed using Google Earth Engine (GEE) platform and ArcMap software (version 10.8) and divided into four frequency classes based on the number of dust days: low (0–50 dusty days per year) (class 1), moderate (50–100 dusty days per year) (class 2), high (100–150 dusty days per year) (class 3), and very high (more than 150 dusty days per year) (class 4). Subsequently, spatial and temporal distribution maps of each class were carefully prepared. Also, in order to identify and categorize years with similar patterns in terms of the frequency of dust day, the K-Means clustering method was used in SPSS software (version 30). Using this analysis, years were well separated into cluster groups based on similar frequencies.

Results and Discussion

The results of this study showed that changes in the spatial distribution and intensity of dust events were significant between 2001 and 2024. In the early years of the study (2001–2008), the frequency of dust occurrence on the floor was low, but from 2012 onwards, the area of floors with medium and high frequency increased significantly. Although in some years, such as 2019 and 2020, the abundance of dust decreased relatively, in previous years the trend of this phenomenon was increasing. The results of cluster analysis using SPSS software (version 30) showed that the highest frequency of dusty days in 2014–2015 and 2015–2016 belonged to cluster group 2. Also, the lowest frequency of dusty days in the years 2001–2002 to 2007–2008, 2019–2020, and 2020–2021 was related to cluster 4. Also, validation result using data from the Shabestar synoptic station, (the nearest station to the northern margin of Lake Urmia), indicated that the relationship between station observations (codes 5, 6, and 8) and the area of pixels with high dust storm frequency in remote sensing image was weak and not statistically insignificant. These findings indicated that dust particles rising from the dried lake bed are unable to be transported over long distances and settle very close to their point of origin.

Conclusion and Suggestions

The result of the study of the spatial and temporal frequency of dust storm events from 2001 to 2024 on the northern margin of Lake Urmia showed that the annual changes in the frequency of dusty days in the mentioned region were significant. Therefore, the role of climatic, geological, soil and environmental factors is important. The results of this study indicate the need for continuous monitoring and updating of data in the mentioned region so that the damaging trend of dust events in the region can be identified and managed in a timely manner. Therefore, it is suggested that the results of this research be used to design management strategies and reduce environmental risks in the region so that favorable decisions can be made at the local and regional levels. It is also suggested that data updates be carried out continuously on the northern shore of Lake Urmia to identify harmful trends in a timely manner and to make local and regional decisions with more accuracy and effectiveness. On the other hand, by integrating climatic, geological, and soil information, it is possible to help develop early warning systems and preventive management and minimize the negative effects of this phenomenon on the environment and local communities.

Keywords: Dust storm frequency, K-Means clustering, Lake Urmia, MAIAC algorithm, remote sensing

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' Contribution

Author 1: Performed software/statistical analyses, conducted meteorological data analysis, and prepared the initial draft of the manuscript

Author 2: Contributed to conceptualization and idea development, carried out remote sensing procedures and analyses, revised and edited the manuscript, and evaluated the results



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراس

پژوهش‌های آب‌بخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراس

تحلیل آثار فرسایش آبی بر ویژگی‌های خاک و ساختار میکروبی در آبخیز سرسارو شهرستان خاش

- مرتضی صابری^{۱*}، وحید کریمیان^۲، محمد رضا دهمرده قلعه‌نو^۳، رسول خطیبی^۴، مهدی سرپرست^۵
- ۱ و ۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ۲- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
- ۴- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ۵- دکتری منابع طبیعی، مقابله با بیابان زدائی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، کارشناس سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

فرسایش آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عامل‌های ویرانی خاک، تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت و عملکرد خاک در بوم‌سازگان‌های گوناگون دارد. آبخیز سرسارو در شهرستان خاش به‌دلیل شرایط اقلیمی خاص و دخالت‌های انسانی از جمله چرای بی‌رویه و از بین رفتن پوشش گیاهی، از مناطق آسیب‌پذیر نسبت به فرسایش آبی به‌شمار می‌آید. با وجود اهمیت موضوع، بررسی‌های جامعی که به‌طور هم‌زمان ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در این منطقه را نشان دهد، انجام‌نشده است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات فرسایش آبی بر تغییرات خاک و ساختار میکروبی در آبخیز سرسارو انجام شد تا با شناخت بهتر اثرات فرسایش، راهکارهایی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، نمونه‌برداری خاک به‌شکل طرح کاملاً تصادفی انجام شد. ابتدا از نقشه‌های فرسایش و رسوب موجود در منطقه برای طبقه‌بندی شدت‌های فرسایش خاک شامل: بدون فرسایش، فرسایش کم، فرسایش متوسط و فرسایش شدید، استفاده شد. سپس، در هر منطقه فرسایشی، چهار منطقه همگن با شرایط گیتاشناسی تقریباً مشابه انتخاب شد و در هر کدام از آن‌ها، پنج نمونه خاک (یک نمونه در مرکز و چهار نمونه به‌شکل علامت بعلاوه در پیرامون آن) برداشت شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: mortezasaberi@uoz.ac.ir

استناد: صابری، م.، کریمیان، و.، دهمرده قلعه، م.، ر.، خطیبی، ر.، سرپرست، م. ۱۴۰۴. تحلیل آثار فرسایش آبی بر ویژگی‌های خاک و ساختار میکروبی در آبخیز سرسارو شهرستان خاش. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۴): ۱۶۴-۱۴۶.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.370181.1628

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

پژوهش‌های آبخیزداری، ۱۴۰۴ سال، دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۹، زمستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۴۶ تا ۱۶۴.

© نویسندگان

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



نمونه‌برداری از خاک از ژرفای صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. برای هر جایگاه فرسایشی، نمونه‌های برداشت‌شده از مناطق همگن باهم ترکیب شدند و یک نمونه مرکب تهیه شد. بلافاصله پس از برداشت، نمونه‌های خاک به دو بخش تقسیم شدند. بخشی از نمونه‌ها که برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی در نظر گرفته شده بودند، بدون الک کردن و با حفظ شرایط رطوبتی اولیه، در ظروف دربسته و در مجاورت یخ خشک به آزمایشگاه منتقل شدند و تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شدند. بخش دیگر نمونه‌ها، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از خشک شدن در هوای آزاد و عبور از الک دو میلی‌متری، استفاده شد. تجزیه پراکنش یک‌طرفه (ANOVA) داده‌های مربوط به ویژگی‌های خاک با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها، با استفاده از آزمون دانکن با سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. همچنین، تحلیل همبستگی میان سنجه‌های بررسی‌شده در محیط نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل پراکنش نشان داد که شدت اثرات فرسایش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک معنادار ($p < 0.01$) بود. اندازه‌شن از ۲۵٪ در خاک‌های بدون فرسایش به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. همبستگی سیلت و رس با شدت فرسایش منفی و به‌ترتیب (-0.96) و (-0.95) بود و اندازه هر دو کاهش یافت. رطوبت خاک در زمین بدون فرسایش ۱۲/۵٪ بود که در فرسایش شدید به ۶/۰۹٪ کاهش یافت ($p < 0.01$). همچنین، تخلخل کاهش (همبستگی منفی -0.97) و جرم‌مخصوص‌ظاهری (همبستگی مثبت) افزایش یافت. سنجه‌های شیمیایی خاک نیز مانند کربن آلی از ۲/۲۳٪ به ۰/۹۳٪، نیتروژن کل از ۰/۳۱٪ به ۰/۰۸٪، پتاسیم قابل‌جذب و فسفر قابل‌جذب به‌طور معناداری کاهش یافتند ($p < 0.01$). هدایت الکتریکی به‌طور معناداری (همبستگی مثبت ۰/۹۲) افزایش یافت. تغییرات اسیدیته چندان چشمگیر نبود ($p > 0.05$). ویژگی‌های زیستی خاک به‌شدت کاهش یافتند؛ فعالیت آنزیم کاتالاز از ۲۸/۰۵ واحد در خاک‌های بدون فرسایش به ۳/۵۷ واحد در خاک‌های با فرسایش شدید کاهش یافت ($p < 0.01$). کربن زی‌توده میکروبی از ۲۲۳/۶ میلی‌گرم به ۹۳/۳ میلی‌گرم، نیتروژن زی‌توده میکروبی از ۳۱/۶ به ۷/۸ میلی‌گرم و جمعیت میکروارگانیزم‌ها و تنفس میکروبی پایه نیز به‌طور معناداری کاهش یافتند ($p < 0.01$). سهم میکروبی خاک نیز کاهش یافت و همبستگی آن با شدت فرسایش زیاد و منفی (بیش از -0.96) بود. این داده‌ها بیانگر اثرات منفی و شدید فرسایش آبی بر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و کاهش سلامت و ظرفیت تولیدی بوم‌سازگان‌ها است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که اثرات فرسایش آبی بر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در آبخیز سرسارو شدید و منفی بود. فرسایش با حذف لایه‌های سطحی، کاهش ماده آلی، ویرانی ساختار خاک، کاهش عناصر غذایی و تضعیف جامعه‌های میکروبی، سلامت و عملکرد بوم‌سازگان‌های خاک را به مخاطره می‌اندازد و توان تولیدی آن را کاهش می‌دهد. از این‌رو، برای جلوگیری از ویرانی بیشتر خاک و کاهش عملکرد زیستی آن، مهار فرسایش و مدیریت جامع منابع خاک از اولویت‌های مهم در مناطق آسیب‌پذیر مانند آبخیز سرسارو است. برپایه نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود شاخص‌های زیستی به‌عنوان ابزارهای مؤثر در پایش سلامت خاک‌های فرسایش‌یافته در نظر گرفته شوند تا بستر مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی فراهم آید.

واژگان کلیدی

آنزیم کاتالاز، پایداری خاک، شاخص‌های زیستی، مناطق خشک و نیمه‌خشک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

مقدمه

آبخیزها به‌عنوان واحدهای بنیادی مدیریت منابع آب و خاک، در پایداری بوم‌سازگان نقش اساسی دارند. از سوی دیگر، فرسایش آبی به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین و مهم‌ترین عامل‌های ویرانی خاک، در تغییر کیفیت و عملکرد خاک در بوم‌سازگان‌های گوناگون نقش بسزایی دارد. این فرایند که ناشی از اثرات بارش و جریان آب سطحی بر لایه‌های سطحی خاک است، باعث جابجایی ذرات خاک، کاهش ژرفای خاک و به‌تبع آن ویرانی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن می‌شود (لال ۲۰۰۱). فرسایش آبی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که خاک‌ها و پوشش گیاهی حساس‌تری دارند، می‌تواند پیامدهای زیان‌باری برای سلامت خاک و بوم‌سازگان داشته باشد. این پدیده به‌طور مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل و ساختار آن اثرگذار است و موجب ویرانی لایه‌های سطحی خاک می‌شود که معمولاً غنی از مواد آلی و مواد مغذی هستند (کیو و همکاران ۲۰۲۱). نتایج پژوهشی نشان داد که فرسایش آبی باعث کاهش ماده آلی خاک شد و این کاهش بر فعالیت‌های میکروبی، ظرفیت نگهداری آب و فرآیندهای بیوشیمیایی خاک اثرات گسترده‌ای داشت (لیو و همکاران ۲۰۲۳). همچنین، تغییرات شیمیایی خاک مانند کاهش اسیدیته و کاهش عناصر مغذی مانند فسفر و نیتروژن از پیامدهای فرسایش است که چرخه‌های تغذیه‌ای خاک را مختل می‌سازد (ژانگ و همکاران ۲۰۲۳). میکروارگانیسم‌های خاک، به‌ویژه باکتری‌ها و قارچ‌ها، به‌عنوان مؤلفه‌های حیاتی حفظ کیفیت خاک و پایداری بوم‌سازگان شناخته می‌شوند (کیو و همکاران ۲۰۱۹)، و در تجزیه مواد آلی، تثبیت نیتروژن و تسهیل جذب مواد مغذی نقش مهمی دارند (کندی و استیوبس ۲۰۰۶؛ نیمو و همکاران ۲۰۱۳). نتایج پژوهش‌های پرشماری نشان داده است که فرسایش، با کاهش کربن آلی و تغییرات اسیدیته، موجب کاهش تنوع و تغییر ساختار جامعه‌های میکروبی خاک می‌شود (کیو و همکاران ۲۰۲۱).

یک شاخص مهمی برای پایداری زیستی خاک، نسبت قارچ به باکتری است، که تحت تأثیر فرسایش کاهش می‌یابد، چرا که قارچ‌ها در تثبیت ساختار خاک و تجزیه مواد آلی نقش مهمی دارند. در پژوهشی کیو و همکاران (۲۰۲۱)، کاهش تعداد گونه‌های میکروبی و تغییر ترکیب گونه‌ای به سمت گروه‌های مقاوم‌تر را گزارش کردند. افزون بر این، کاهش فعالیت آنزیم‌های خاک مانند دفسفاتاز و اوره‌آز در اثر فرسایش شدید را نیز گزارش کردند و دریافتند که این موضوع بر چرخه نیتروژن و فسفر اثرات منفی دارد (ژانگ و همکاران ۲۰۲۳). نتایج پژوهش لیو و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد کاهش کربن آلی فعال خاک موجب کاهش فعالیت‌های میکروبی و عملکرد چرخه‌های زیستی شد. در پژوهشی در آبخیز منزالاب شهرستان زاهدان، صابری و همکاران (۲۰۲۵) دریافتند که شدت فرسایش آبی موجب کاهش معنادار کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، فسفر و تخلخل خاک شد. از سوی دیگر، سنجه‌هایی مانند اسیدیته، هدایت الکتریکی، آهک و جرم‌مخصوص‌ظاهری خاک افزایش یافتند. این تغییرات فیزیکی و شیمیایی به کاهش شاخص‌های زیستی خاک و کاهش کیفیت زیستی و فعالیت میکروبی خاک منجر شد. نتایج پژوهش مشابه صابری و همکاران (۲۰۲۵) در آبخیز دهبکری استان کرمان نشان داد افزایش شدت فرسایش باعث کاهش محتویات رطوبت، نیتروژن آلی، کربن آلی، فسفر کل، پتاسیم قابل‌دسترس و فعالیت زیستی خاک شد. تغییرات مهم در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اثرات مستقیمی بر تنوع و عملکرد میکروبیوتای خاک داشته و سبب کاهش عملکرد چندگانة خاک می‌شود. نتایج دیگر پژوهش‌ها نیز بر اثرات گسترده فرسایش آبی بر ویژگی‌های خاک تأکید دارند. در این راستا، لی و همکاران (۲۰۱۵) در جنوب چین نشان دادند که نواحی رسوب‌گذاری به‌دلیل تجمع ذرات ریز و کربن آلی، زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیمی بیشتری در مقایسه با مناطق فرسایش‌یافته، داشتند. همچنین، دانگیت و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که

فرسایش آبی، خاک سطحی غنی از کربن را جابه‌جا کرده و ذرات ریزتر و کربن آلی را از مناطق فرسایش‌یافته به نواحی رسوبی منتقل می‌کند. این انتقال نه‌فقط موجب کاهش کیفیت خاک در مناطق فرسایش‌یافته می‌شود بلکه باعث تغییراتی در بوم‌سازگان‌های رسوبی نیز می‌شود. صادقی و همکاران (۲۰۲۳) با تحلیل جامعه‌های میکروبی خاک تحت مدیریت‌های مختلف نشان دادند که ترکیب و ساختار میکروبی خاک به‌شدت با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن، به‌ویژه اسید چرب فسفولیپید کل که شاخص مهمی از میکروارگانیسم‌های خاک است، مرتبط بود. سوو و همکاران (۲۰۲۱) تأکید کردند که تنوع و ساختار میکروارگانیسم‌ها در خاک‌های جنگلی تحت تأثیر عامل‌هایی همچون کربن آلی، اسیدیته و فسفر خاک بود. نتایج بررسی ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که افزایش شدت فرسایش خاک باعث کاهش کربن میکروبی در ژرفای ۵ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک شد. از سوی دیگر، تغییرات قابل‌توجهی در لایه سطحی ۰ تا پنج سانتی‌متری خاک مشاهده نشد. از این‌رو، تنفس میکروبی با افزایش سرعت فرسایش، افزایش یافت که این موضوع بیانگر فعالیت میکروبی متفاوت در شرایط فرسایشی بود. نتایج پژوهش یانگ و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که فرسایش خاک باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها، فعالیت آنزیمی و تنوع میکروبی شد و این اثرات منفی، چند عملکردی بودن خاک را کاهش داد و به‌شدت بر توان بوم‌سازگان خاک تأثیرگذار بود. نتایج پژوهش‌های پرشماری بیانگر آن است که فرسایش آبی موجب کاهش کربن آلی، نیتروژن، فعالیت آنزیمی و تنوع میکروبی خاک می‌شود و سرانجام منجر به کاهش کیفیت و عملکرد خاک می‌شود. همچنین، فرسایش باعث انتقال ذرات ریز و مواد مغذی از مناطق فرسایش‌یافته به مناطق رسوب‌گذاری می‌شود در نتیجه در این نواحی تغییرات متفاوتی در خواص خاک و فعالیت‌های میکروبی رخ می‌دهد (محسنی ۲۰۱۹؛ پلونیکووا ۲۰۲۴). کیو و همکاران (۲۰۲۱) در استان هیلونگیانگ چین، گزارش کردند فرسایش آبی موجب کاهش تنوع میکروبی و تغییر در ترکیب جامعه

میکروبی شد. این تغییرات بیانگر اثرات منفی فرسایش بر عملکرد زیستی خاک بود. نتایج پژوهش سلطانی‌طولارود و اصغری (۲۰۲۱) در شهرستان آستارا نشان داد که اندازه سنجه‌های زیستی خاک در زمین‌های جنگلی به‌طور معناداری بیشتر از زمین مرتعی بود و اثرات شیب و جهت زمین نیز بر شاخص‌های میکروبی خاک قابل‌توجه بود. نتایج بررسی صادقی و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که ترکیب، تنوع و فراوانی جامعه‌های میکروبی خاک به‌شدت تحت تأثیر تغییرات ناشی از فرسایش در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بود و میکروارگانیسم‌ها در فرایندهای بیوشیمیایی خاک نقش اساسی دارند که شامل تجزیه و تثبیت مواد غذایی، تنظیم چرخه کربن و نیتروژن و حفظ پایداری بوم‌سازگان است (فرانتس لوبرز ۲۰۲۰؛ کیو و همکاران ۲۰۲۱). از این‌رو، تغییرات در ویژگی‌های خاک، به‌ویژه کربن آلی، اسیدیته و فسفر می‌تواند به‌طور مستقیم بر ساختار و عملکرد میکروبی خاک اثرگذار باشد. نتایج پژوهش‌های پرشماری نشان داد که فرسایش آبی با جابه‌جایی ذرات ریز و مواد آلی، منجر به کاهش کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شود. این فرآیند موجب کاهش کربن آلی، نیتروژن، تنوع میکروبی و فعالیت آنزیمی شده و عملکردهای بوم‌سازگان خاک را به‌طور چشمگیری مختل می‌سازد. همچنین، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه ترکیب و ساختار جامعه میکروبی خاک به‌شدت تحت تأثیر تغییرات ناشی از فرسایش است. آبخیز سراسرو در شهرستان خاش یکی از مناطق آسیب‌پذیر به فرسایش آبی است. با توجه به گزارش‌ها و بازدیدهای میدانی و مشاهده نشانه‌ها و شواهد، فرسایش آبی به شکل‌های سطحی، شیری، آبراهه‌ایی و کناری در منطقه مشاهده شد که به‌دلیل شرایط اقلیمی و دخالت‌های انسانی، نیاز به بررسی دقیق است. با وجود اهمیت این موضوع، تاکنون پژوهش جامعی که به‌طور هم‌زمان ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک را در این منطقه بررسی کند، انجام نشده است. این کمبود، بر ضرورت انجام پژوهشی کاربردی در این زمینه می‌افزاید. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی

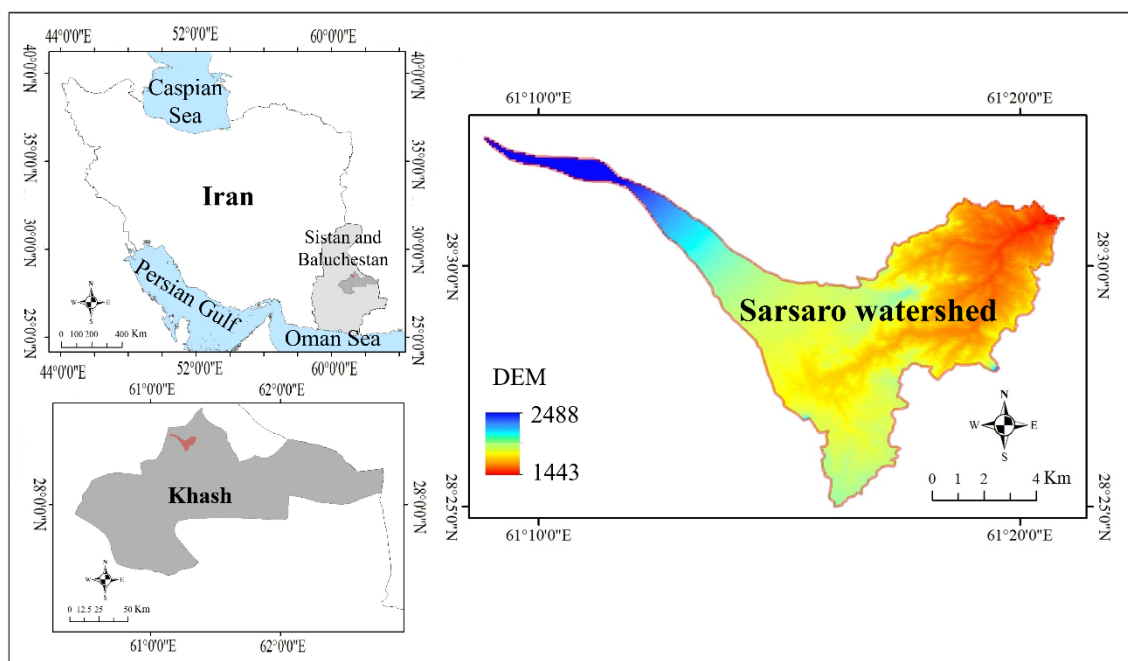
آبخیز سرسارو به‌ترتیب ۲۴۸۷/۶ و ۱۴۳۹ متر است. آب و هوای این آبخیز بر اساس روش آمبرژه بیابانی گرم و ضعیف و بر اساس روش دومارتن خشک و معتدل است. میانگین سالانه بارندگی منطقه پژوهش‌شده ۱۴۹/۶ میلی‌متر و میانگین سالانه دما ۱۸/۶ درجه سانتی‌گراد است. فلور گیاهی آبخیز در فلور بلوچ است. با توجه به بارندگی کم، پراکنش نامنظم بارش، فقدان خاک مناسب، مدیریت چرای نامناسب، درصد پوشش گیاهی آبخیز کمتر از حد بالقوه آن بود.

اثرات فرسایش آبی بر تغییرات خاک و ساختار میکروبی در آبخیز سرسارو انجام شد تا با شناخت بهتر اثرات فرسایش، راهکارهایی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه پژوهش شده

آبخیز سرسارو، در استان سیستان و بلوچستان و ۳۰ کیلومتری شمال شهرستان خاش است. مساحت کل این آبخیز ۶۶/۷۸۹ کیلومترمربع، معادل ۶۶۷۸/۹ هکتار است که بیشترین و کمترین بلندی در خروجی



شکل ۱- موقعیت آبخیز سرسارو در استان و کشور.

Figure 1- Location of the Sarsaro Watershed in the Province and Country.

روش پژوهش

(یک نمونه در مرکز و چهار نمونه به‌شکل علامت + در پیرامون آن) برداشت شد. نمونه‌برداری خاک از ژرفای صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. برای هر جایگاه فرسایشی، نمونه‌های برداشت‌شده از مناطق همگن باهم ترکیب‌شده و یک نمونه مرکب تهیه شد. بلافاصله پس از برداشت، نمونه‌های خاک به دو بخش تقسیم شدند. بخشی از نمونه‌ها که برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی در نظر گرفته‌شده بود، بدون الک

در این پژوهش نمونه‌برداری خاک در سال ۱۴۰۰ به‌شکل طرح کاملاً تصادفی انجام شد. ابتدا از نقشه‌های فرسایش و رسوب موجود در منطقه برای طبقه‌بندی شدت‌های فرسایش خاک شامل: بدون فرسایش، فرسایش کم، فرسایش متوسط و فرسایش شدید، استفاده شد. سپس در هر منطقه فرسایشی، چهار منطقه همگن با شرایط گیتاشناسی تقریباً مشابه انتخاب شد و در هر کدام از آن‌ها، پنج نمونه خاک

میکروبی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (کیو و همکاران ۲۰۲۰).

$$MBC = \frac{Ec}{K_{Ec}} \quad (1)$$

Ec: تفاوت کربن آلی تدخین‌شده به کربن آلی نمونه‌های تدخین‌نشده، K_{Ec} : ضریب تبدیل Ec به MBC است که ۰/۴۵ در نظر گرفته شد.

این رابطه برای محاسبه نیتروژن زی‌توده میکروبی نیز کاربرد دارد. با این تفاوت که نیتروژن آلی تدخین‌شده و نیتروژن آلی نمونه‌های تدخین‌نشده در این رابطه مد نظر بود و ضریب تبدیل ۰/۵۴ در نظر گرفته شد (کیو و همکاران ۲۰۲۰). جمعیت میکروارگانیسم‌ها با روش بیشترین تعداد احتمالی محاسبه شد. تنفس میکروبی با جمع‌آوری دی‌اکسیدکربن رهاشده در هیدروکسید سدیم و روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (اندرسون ۱۹۸۲). همچنین، با تقسیم کربن آلی زی‌توده میکروبی به کربن آلی خاک سهم میکروبی خاک تعیین شد (مارتنز ۱۹۹۵).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه پراکنش یک‌طرفه (ANOVA) داده‌های مربوط به ویژگی‌های خاک با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها، با استفاده از آزمون دانکن با سطح اطمینان ۰/۰۵٪ انجام شد. همچنین، تحلیل همبستگی میان سنج‌های بررسی‌شده در محیط نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج و بحث

اثرات فرسایش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج تحلیل پراکنش نشان داد که اثرات فرسایش با شدت‌های متفاوت بر ویژگی‌های فیزیکی خاک معنادار بود ($p < 0/01$). بیشترین تغییرات مربوط به درصد شن، سیلت، رطوبت و تخلخل بود. با افزایش شدت فرسایش، درصد ذرات درشت‌تر (شن) افزایش و ذرات ریزتر (سیلت و رس)، رطوبت و تخلخل کاهش یافت. این پدیده سبب افزایش جرم‌مخصوص‌ظاهری و کاهش کیفیت فیزیکی خاک می‌شود (جدول ۱).

کردن و با حفظ شرایط رطوبتی اولیه، در ظروف دربسته و در مجاورت یخ خشک به آزمایشگاه منتقل شد و تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شد. بخش دیگر نمونه‌ها، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از خشک شدن در هوای آزاد و عبور از الک دو میلی‌متری، استفاده شد (کمالی و همکاران ۲۰۲۲؛ باستانی و همکاران ۲۰۲۳).

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری تعیین شد که شامل اندازه‌گیری درصد شن، رس و سیلت بود و نتایج به کاربرد مثلث بافت خاک (شومان و همکاران ۲۰۰۲) طبقه‌بندی شد. جرم‌مخصوص‌ظاهری خاک با استفاده از روش کلوخه و تخلخل با محاسبه چگالی حجمی ارزیابی شد (چن و همکاران ۲۰۲۲). سنج‌های شیمیایی خاک شامل کربن آلی و نیتروژن کل به‌ترتیب با روش اکسیداسیون دی کرومات والکی و روش کج‌لدال اندازه‌گیری شدند. فسفر قابل‌دسترس با روش اولسن و پتاسیم قابل‌دسترس با استخراج استات آمونیوم خنثی و اندازه‌گیری با روش فلیم فتومتری تعیین شد. افزون بر این، اسیدیته خاک با استفاده از pH متر و هدایت الکتریکی نیز با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد و رطوبت خاک با روش وزنی تعیین شد (کمالی و همکاران ۲۰۲۲؛ کیو و همکاران ۲۰۲۰؛ باستانی و همکاران ۲۰۲۳).

ویژگی‌های زیستی خاک

در این پژوهش، ویژگی‌های زیستی بررسی‌شده شامل فعالیت آنزیمی خاک (آنزیم کاتالاز)، کربن زی‌توده میکروبی، نیتروژن زی‌توده میکروبی، جمعیت میکروارگانیسم‌ها، سهم میکروبی خاک و تنفس میکروبی پایه بودند. به‌منظور ارزیابی اثرات فرسایش خاک بر فعالیت‌های آنزیمی خاک، آنزیم کاتالاز خاک با اضافه کردن هیدروژن پراکسید به‌وسیله اسپکتروفوتومتر با طول‌موج تقریباً ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. کربن زی‌توده میکروبی با استفاده از روش استخراج پس از گازدهی با کلروفرم اندازه‌گیری شد (بروکس و همکاران ۱۹۸۵). کربن زی‌توده

جدول ۱- تجزیه پراکنش شدت فرسایش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک.

Table 1- Analysis of variance of erosion intensity effects on soil physical properties.

Soil parameters		df	Mean Squares	F
Sand	Between Groups	3	142.8	142.8**
	Within Groups	8	1.0	
Silt	Between Groups	3	32.7	98.2**
	Within Groups	8	0.33	
Clay	Between Groups	3	44.08	52.9**
	Within Groups	8	0.83	
Moisture	Between Groups	3	22.6	98.7**
	Within Groups	8	0.23	
Bulk Density	Between Groups	3	0.1	76.9**
	Within Groups	8	0.00	
Porosity	Between Groups	3	155.6	84.9**
	Within Groups	8	1.8	

** معناداری در سطح احتمال یک درصد.

** indicate significance at the 1% probability levels, respectively.

با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا نیست. در این پژوهش، تخلخل خاک کاهش و جرم‌مخصوص ظاهری افزایش یافت که نشان‌دهنده فشردگی بیشتر خاک و کاهش فضای خالی برای تبادل آب و هوا است. این تغییرات فیزیکی در اثر فرسایش منجر به کاهش کیفیت فیزیکی خاک شده و ساختار خاک را به شدت مختل می‌کند. این تغییرات ناشی از ویرانی ساختار خاکدانه‌ای، کاهش مواد آلی و کاهش ظرفیت خاک در حفظ فضاهای خالی است (پلاتیکووا و همکاران، ۲۰۲۴). در نتیجه، با افزایش فشردگی خاک، نفوذپذیری آب و هوادهی کاهش یافته و رشد ریشه گیاهان و فعالیت‌های میکروبی با محدودیت مواجه می‌شود (اصغری و ارخلو ۲۰۲۰). یافته‌های این پژوهش با نتایج صابری و همکاران (۲۰۲۵) و سان و همکاران (۲۰۲۱) هماهنگی دارد.

برپایه نتایج جدول ۱، با افزایش شدت فرسایش، ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌طور معناداری تغییر یافت. درصد شن به‌طور پیوسته افزایش یافت، درحالی‌که درصد سیلت و رس کاهش یافت. کاهش رطوبت خاک نیز در شرایط فرسایش شدید، محسوس بود و از ۱۲/۵٪ در زمین بدون فرسایش به ۶/۰۹٪ کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین اثر فرسایش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۲ ارائه شده است. تغییرات قابل‌توجه درصد شن، سیلت، رطوبت و تخلخل بیانگر حذف ذرات ریزتر و باقی‌ماندن ذرات درشت‌تر در اثر فرسایش است. این موضوع منجر به کاهش پایداری خاک می‌شود. در این راستا، ترنان و همکاران (۱۹۹۶) و راسیا و کی (۱۹۹۴) دریافتند که افزایش رس به‌عنوان ملات میان ذرات خاک، موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها شد. نتایج این پژوهشگران

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر فرسایش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک.

Table 2- Mean comparison of erosion effects on soil physical properties.

Soil parameters	Erosion intensity			
	No erosion	low	Moderate	intensity
Sand (%)	52 ^b	58.3 ^c	62.6 ^b	68.3 ^a
Silt (%)	30.6 ^a	27.6 ^b	26.6 ^b	22.6 ^c
Clay (%)	17.3 ^a	14.0 ^b	10.0 ^c	9.0 ^c
Moisture (%)	12.5 ^a	9.7 ^b	7.8 ^c	6.09 ^d
Bulk Density (g/cm ³)	1.26 ^c	1.36 ^d	1.53 ^b	1.67 ^a
Porosity (%)	42 ^a	34 ^b	30 ^c	25 ^d

همبستگی ویژگی‌های فیزیکی خاک

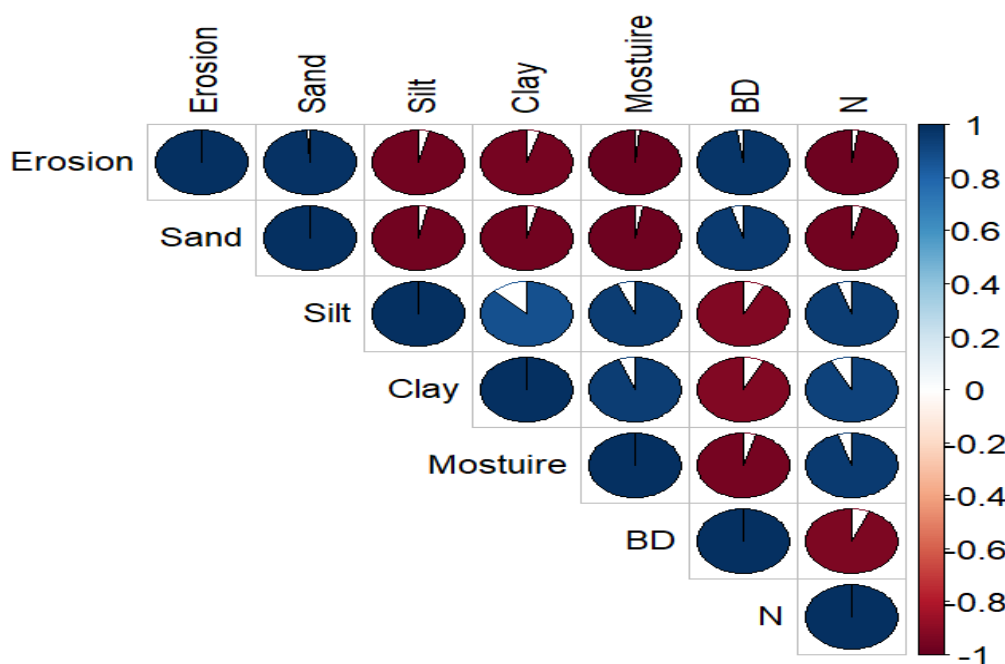
نتایج همبستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی خاک نشان داد که رابطه شدت فرسایش با بافت خاک، رطوبت، جرم مخصوص ظاهری (BD) و نیتروژن کل (N) معنادار و قوی بود. همبستگی میان فرسایش و درصد شن مثبت و بسیار زیاد (۰/۹۸) بود. از سوی دیگر، همبستگی شدت فرسایش با سیلت (-۰/۹۶) و رس (-۰/۹۵) منفی بود. افزون بر این، همبستگی میان فرسایش با رطوبت خاک (-۰/۹۸) و تخلخل (-۰/۹۷) منفی بود و سبب کاهش قابل توجه هر دو شد.

همبستگی میان فرسایش و جرم مخصوص ظاهری مثبت (۰/۹۷) بود و فرسایش سبب افزایش آن شد (جدول ۳ و شکل ۲). فرسایش آبی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای ویرانی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید و بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اثرگذار است. این فرآیند با حذف لایه‌های سطحی خاک که سرشار از مواد آلی و مغذی هستند، ظرفیت بوم‌سازگان خاک را کاهش می‌دهد.

جدول ۳- نتایج تجزیه ضریب همبستگی میان ویژگی‌های فیزیکی خاک

Table 3 – Results of correlation coefficient analysis among soil physical properties

	Erosion	Sand	Silt	Clay	Mostuire	BD	N
Erosion	1						
Sand	0.98	1					
Silt	-0.96	-0.96	1				
Clay	-0.95	-0.96	0.87	1			
Mostuire	-0.98	-0.97	0.94	0.94	1		
BD	0.97	0.95	-0.92	-0.92	-0.95	1	
N	-0.97	-0.96	0.94	0.92	0.95	-0.93	1



شکل ۲- همبستگی پیرسون میان متغیرهای فیزیکی خاک.

Figure 2-Pearson correlation coefficients among soil physical properties.

اثرات فرسایش بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

بر پایه نتایج جدول ۴، اثرات شدت فرسایش بر بیشتر ویژگی‌های شیمیایی خاک معنادار بود. نتایج مقایسه میانگین مربعات و آزمون F بیانگر وجود تفاوت بسیار (در سطح ۱٪) میان شاخص‌هایی مانند کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل جذب، فسفر قابل جذب و هدایت الکتریکی (EC) بود. از سوی دیگر، شدت فرسایش بر اندازه pH بی‌تأثیر بود و از دیدگاه آماری میان گروه‌ها تفاوت معنادار مشاهده نشد (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه پراکنش شدت فرسایش بر ویژگی‌های شیمیایی خاک.

Table 4 – Analysis of variance of erosion intensity on soil chemical properties

Soil parameters		df	Mean Squares	F
Organic Carbon	Between Groups	3	10.87	237.2**
	Within Groups	8	0.04	
Total Nitrogen	Between Groups	3	0.15	180.3**
	Within Groups	8	0.00	
Available Potassium	Between Groups	3	12943.8	374.2**
	Within Groups	8	34.5	
Available Phosphorus	Between Groups	3	13.5	66.8**
	Within Groups	8	0.20	
pH	Between Groups	3	0.02	2.84 ^{ns}
	Within Groups	8	0.00	
EC	Between Groups	3	2.6	121.02**
	Within Groups	8	0.02	

** و * : به ترتیب معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

** And *: indicate significance at the 1% and 5% probability levels, respectively.

بر پایه نتایج جدول ۵، افزایش شدت فرسایش سبب کاهش ویژگی‌های شیمیایی خاک (کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر قابل جذب) شد. از سوی دیگر، هدایت الکتریکی (EC) با افزایش شدت فرسایش به‌طور معناداری افزایش یافت. تغییرات pH در میان تیمارها نسبتاً ناچیز بود و فقط در شدت زیاد فرسایش کمی کاهش یافت (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر فرسایش بر ویژگی‌های شیمیایی خاک.

Table 5 – Mean comparison of erosion effects on soil chemical properties.

Soil parameters	Erosion intensity			
	No erosion	low	Moderate	intensity
Organic Carbon (g/kg)	5.51 ^a	4.12 ^b	2.59 ^c	1.10 ^d
Total Nitrogen (g/kg)	0.68 ^a	0.53 ^b	0.33 ^c	0.17 ^d
Available Potassium (mg/kg)	230.3 ^a	185.6 ^b	132.3 ^c	78.6 ^d
Available Phosphorus (mg/kg)	7.02 ^a	5.49 ^b	3.49 ^c	2.2 ^d
pH	8.0 ^a	7.99 ^a	7.93 ^{ab}	7.8 ^b
EC (dS/m)	0.56 ^c	0.85 ^c	1.34 ^b	2.68 ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.01$).Different letters within each column indicate a significant difference ($p < 0.01$).

همبستگی ویژگی‌های شیمیایی

در این پژوهش نتایج نشان داد که همبستگی شدت فرسایش با بیشتر ویژگی‌های شیمیایی خاک بسیار منفی و معنادار بود و موجب کاهش شدید حاصلخیزی و ظرفیت تولیدی خاک شد. به‌طوری‌که با افزایش فرسایش، اندازه کربن آلی (-0.99)، نیتروژن کل (-0.99)، پتاسیم قابل جذب (-0.99) و فسفر قابل جذب (-0.97) به‌شدت کاهش یافت. این روند بیانگر کاهش حاصلخیزی و تخلیه عناصر غذایی مهم در اثر فرسایش است. همبستگی هدایت الکتریکی (EC) با فرسایش مثبت (0.92) بود که احتمالاً ناشی از تجمع نمک‌ها در لایه‌های سطحی خاک بر اثر کاهش پوشش گیاهی و آبشویی مواد آلی است. رابطه میان فرسایش

به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم کیفیت شیمیایی و زیستی خاک، در بهبود خواص شیمیایی، تثبیت ساختار خاک و فعالیت‌های زیستی است (مرادی و همکاران ۲۰۲۴). کاهش کربن آلی خاک از اثرات زیان‌بار فرسایش است، چرا که ذرات ریز و غنی از کربن آلی به‌طور انتخابی به‌وسیله فرسایش جابه‌جا شده و در مناطق رسوبی ته‌نشین می‌شوند (مرادی و همکاران ۲۰۲۴). حذف خاک سطحی غنی باعث می‌شود خاک زیرین که کربن آلی کمتری دارد، در سطح باقی بماند که به کاهش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی منجر می‌شود (سان و همکاران ۲۰۲۱). کاهش ماده آلی خاک، فعالیت میکروبی و چرخه‌های تغذیه‌ای خاک را مختل می‌کند که پیامد آن کاهش حاصلخیزی خاک است (بانجری و همکاران ۲۰۲۰). می‌توان گفت کاهش معنادار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس ناشی از فرسایش شدید نه فقط کیفیت شیمیایی خاک را کاهش می‌دهد بلکه بر توان بوم‌سازگان خاک در حفظ پایداری عملکرد زیستی و بوم‌سازگانی نیز اثرگذار است.

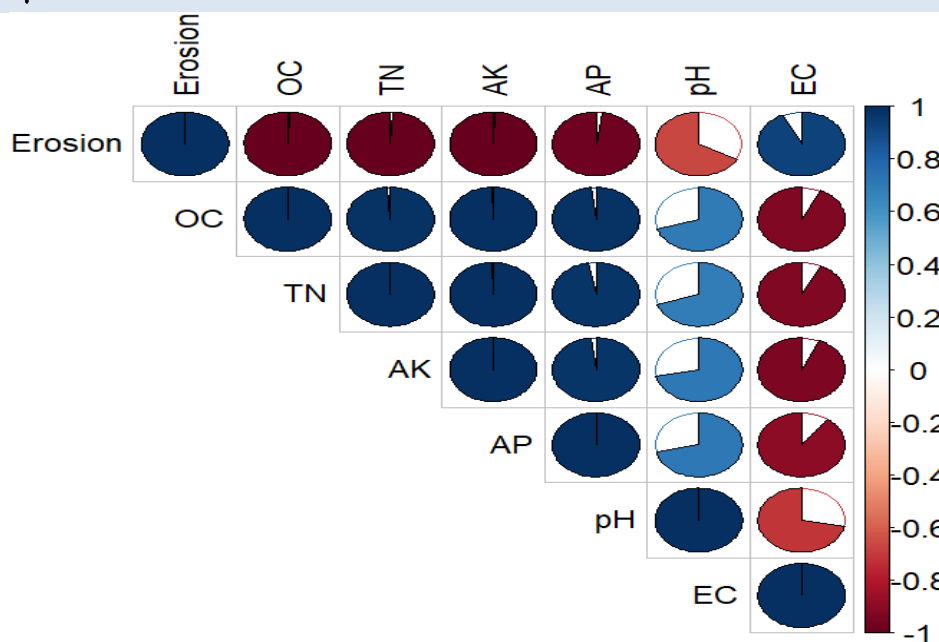
pH (۰/۶۶-) ضعیف‌تر بود. دلیل این یافته آن است که شدت فرسایش بر pH خاک در مقایسه با دیگر ویژگی‌ها کمتر بود. این الگوها گویای اثرات منفی فرسایش بر کیفیت شیمیایی خاک و کاهش ظرفیت تولیدی آن است (جدول ۶ و شکل ۳). تحلیل داده‌ها نشان داد که اثرات شدت فرسایش بر اغلب ویژگی‌های شیمیایی خاک چشمگیر بود و موجب کاهش قابل توجه اندازه کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر قابل جذب شد (جدول‌های ۴ و ۵). کاهش این عناصر عمدتاً به دلیل حذف لایه‌های سطحی غنی از مواد آلی و مغذی در اثر فرسایش بود. اگرچه تغییرات اسیدیته خاک معنادار نبود، اما هدایت الکتریکی به شدت تحت تأثیر فرسایش، افزایش یافت. دلیل این پدیده احتمالاً تجمع نمک‌ها در لایه‌های سطحی خاک است. نتایج پژوهش‌های لال و همکاران (۲۰۰۴)، ماندال و همکاران (۲۰۲۱، ۲۰۲۳) و دانگیت و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیانگر نقش مهم کاهش عناصر غذایی و مواد آلی در تضعیف حاصلخیزی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های فرسایش یافته است. افزون بر این، نتایج دیگر پژوهش‌ها بیانگر نقش مهم ماده آلی

جدول ۶- نتایج تجزیه ضریب‌های همبستگی ویژگی‌های شیمیایی خاک.

Table 6 – Results of correlation coefficient analysis of soil chemical Properties.

	Erosion	OC	TN	AK	AP	pH	EC
Erosion	1						
OC	-0.99	1					
TN	-0.99	0.98	1				
AK	-0.99	0.99	0.98	1			
AP	-0.97	0.98	0.96	0.97	1		
pH	-0.66	0.70	0.38	0.71	0.71	1	
EC	0.92	-0.92	-0.95	-0.93	-0.89	-0.71	1

فرسایش (Erosion)، کربن آلی (OC)، نیتروژن کل (TN)، پتاسیم قابل جذب (AK)، فسفر قابل جذب (AP)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC).



شکل ۳- همبستگی پیرسون میان متغیرهای شیمیایی خاک.

Figure 3- Pearson correlation coefficients among soil chemical properties.

اثرات فرسایش بر ویژگی های زیستی خاک

میکروبی، تنفس پایه میکروبی، جمعیت میکروارگانیسم ها و ضریب میکروبی همگی به طور محسوسی با سطوح مختلف شدت فرسایش متفاوت بودند (جدول ۷).

نتایج تحلیل پراکنش نشان داد که اثرات شدت فرسایش بر تمام شاخص های زیستی خاک بسیار معنادار ($p < 0.01$) بود (جدول ۷). شاخص هایی مانند فعالیت آنزیم کاتالاز، کربن و نیتروژن زی توده

جدول ۷- تجزیه پراکنش شدت فرسایش بر ویژگی های زیستی خاک.

Table 7 – Analysis of variance of erosion intensity on soil biological properties.

Soil parameters		df	Mean Squares	F
Catalase Enzyme	Between Groups	3	350.7	1065.8**
	Within Groups	8	0.32	
Microbial Biomass Carbon	Between Groups	3	9760.8	208.7**
	Within Groups	8	46.7	
Microbial Biomass Nitrogen	Between Groups	3	307.1	367.5**
	Within Groups	8	0.83	
Basal Microbial Respiration	Between Groups	3	0.27	67.2**
	Within Groups	8	0.00	
Microorganism Population	Between Groups	3	8.2	531.9**
	Within Groups	8	0.01	
Microbial Quotient	Between Groups	3	3.9	228.5**
	Within Groups	8	0.01	

**وجود تفاوت معنادار میان تیمارها در سطح ۱٪.

Significant difference between treatments at the 1% level.

خاک های بدون فرسایش به ۳/۵۷ در شرایط فرسایش شدید کاهش یافت. این یافته نشان دهنده کاهش شدید فعالیت آنزیمی و اختلال در عملکرد زیستی

مقایسه میانگین ها نشان داد با افزایش شدت فرسایش، تمام شاخص های زیستی خاک به طور معناداری کاهش یافتند. فعالیت آنزیم کاتالاز از ۲۸/۰۵ در

(MQ) که به‌عنوان نسبت کربن زی‌توده میکروبی به کربن آلی کل خاک تعریف می‌شود، با افزایش شدت فرسایش کاهش یافت. این کاهش نشان‌دهنده کاهش سهم زی‌توده میکروبی در کربن آلی کل خاک بود (جدول ۸).

خاک است. به‌طور مشابه، اندازه کربن و نیتروژن زی‌توده میکروبی به‌ترتیب از ۲۲۳/۶ و ۳۱/۶ در خاک‌های بدون فرسایش به ۹۳/۳ و ۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های با فرسایش شدید، کاهش یافت. همچنین، کاهش نرخ تنفس میکروبی و جمعیت میکروارگانیسم‌ها قابل‌توجه بود. نسبت سهم میکروبی

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر فرسایش بر ویژگی‌های زیستی خاک.

Table 8 – Mean comparison of erosion effects on soil biological properties.

Soil parameters	Erosion intensity			
	No erosion	low	Moderate	intensity
Catalase Enzyme ($\mu\text{mol KMnO}_4 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$)	28.05 ^a	18.6 ^b	8.9 ^c	3.57 ^d
Microbial Biomass Carbon (mg/kg)	223.6 ^a	201.0 ^b	160.3 ^c	93.3 ^d
Microbial Biomass Nitrogen (mg/kg)	31.6 ^a	22.6 ^b	15.7 ^c	7.8 ^d
Basal Microbial Respiration ($\text{mg CO}_2/\text{g soil} \cdot \text{day}$)	1.04 ^a	0.78 ^b	0.49 ^c	0.37 ^d
Microorganism Population ($\text{CFU} \times 10^7 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$)	4.52 ^a	3.55 ^b	1.54 ^c	1.01 ^d
Microbial Quotient ($\text{mg Cmic} / \text{g Corg}$)	3.97 ^a	3.03 ^b	2.15 ^c	1.28 ^d

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.01$).

Different letters within each column indicate a significant difference ($p < 0.01$).

همبستگی ویژگی‌های زیستی خاک

(۲۰۲۲) و گایان و همکاران (۲۰۲۳) نقش میکروارگانیسم‌های خاک در چرخه مواد مغذی، تولید محصول، مقاومت زیستی و پایداری عملکرد خاک را گزارش کرده‌اند. ارتباط زیاد میان شاخص‌های زیستی نشان داد که این سنج‌ها هم‌راستا و تحت تأثیر شرایط محیطی و کیفیت خاک تغییر می‌کنند. کاهش هم‌زمان این شاخص‌ها بیانگر تضعیف عملکرد زیستی خاک و اختلال در چرخه‌های بوم‌سازگان آن است. در پژوهش‌های پرشماری گزارش شده است که تغییرات در اسیدیته، ماده آلی، عناصر غذایی و ساختار خاک، به‌طور مستقیم ساختار و فعالیت جامعه‌های میکروبی را تغییر داده و عملکرد آنزیمی خاک را دچار اختلال می‌کند (سو و همکاران ۲۰۲۱، راجوال و همکاران ۲۰۲۱ و بانرجی و همکاران ۲۰۲۰). نتایج پژوهش سلطانی‌طولارود و اصغری (۲۰۲۱)، بیانگر تفاوت معنادار میان شاخص‌های زیستی در کاربری‌ها و شیب‌های گوناگون بود که بیانگر اثر عامل‌های محیطی بر جامعه‌های میکروبی است. این یافته‌ها بیانگر آن است که فرسایش، افزون بر اثرات مستقیم، به‌واسطه تغییر در غلظت و ذخیره کربن آلی خاک، جرم‌مخصوص‌ظاهری و کاهش ژرفای خاک سطحی

نتایج به‌دست آمده از ماتریس همبستگی نشان داد که همبستگی فرسایش خاک با شاخص‌های زیستی شامل فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۹۹-)، کربن زی‌توده میکروبی (۰/۹۹-)، نیتروژن زی‌توده میکروبی (۰/۹۹-)، جمعیت میکروارگانیسم‌ها (۰/۹۶-)، تنفس میکروبی پایه (۰/۹۷)، سهم میکروبی (۰/۹۹-)، منفی و معنادار بود (جدول ۹ و شکل ۴). برپایه نتایج جدول ۸، اثرات فرسایش بر شاخص‌های زیستی خاک ازجمله فعالیت آنزیم کاتالاز، کربن و نیتروژن زی‌توده میکروبی، تنفس پایه میکروبی، جمعیت میکروارگانیسم‌ها و ضریب میکروبی منفی و شدید بود. افزایش شدت فرسایش، به‌دلیل کاهش ماده آلی، ویرانی ساختار فیزیکی و شرایط نامناسب زیست‌محیطی، موجب کاهش فعالیت زیستی خاک شد. این شاخص‌ها به‌عنوان نشانگرهای حساس و زودبازده، وضعیت سلامت زیستی خاک را به‌خوبی نمایان ساختند. صابری و همکاران (۲۰۲۵)، کیو و همکاران (۲۰۲۰)، سلطانی‌طولارود و اصغری (۲۰۲۱)، دریافتند که فرسایش با کاهش ماده آلی و رطوبت، ساختار و تنوع جامعه‌های میکروبی خاک را مختل می‌کند. افزون بر این، گیو و همکاران (۲۰۲۲)، داس و همکاران

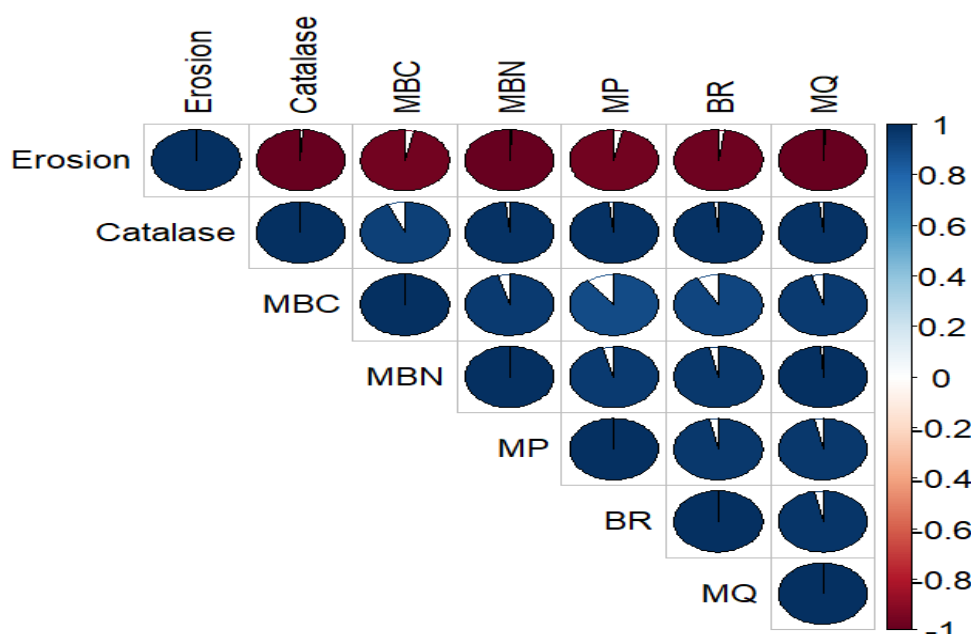
می تواند بر ساختار خاک و عملکرد میکروارگانیسم ها
نیز به طور قابل توجهی اثرگذار باشد (گونزالس و روسادو و همکاران ۲۰۲۱؛ ژانگ و همکاران ۲۰۲۳).

جدول ۹- نتایج تجزیه ضریب های همبستگی ویژگی های زیستی خاک.

Table 9 – Results of correlation coefficient analysis among soil biological properties.

	Erosion	Catalase	MBC	MBN	MP	MR	MQ
Erosion	1						
Catalase	-0.99	1					
MBC	-0.96	0.93	1				
MBN	-0.99	0.98	0.95	1			
MP	-0.96	0.98	0.89	0.95	1		
MR	-0.97	0.98	0.91	0.96	0.96	1	
MQ	-0.99	0.98	0.95	0.99	0.96	0.97	1

فرسایش (Erosion)، آنزیم کاتالاز (Catalase)، کربن زی توده میکروبی (MBC)، نیتروژن زی توده میکروبی (MBC)، جمعیت میکروارگانیسم ها (MP)، تنفس میکروبی پایه (MR)، سهم میکروبی (MQ).



شکل ۴- همبستگی پیرسون میان متغیرهای زیستی خاک.

Figure 4- Pearson correlation coefficients among soil biological properties.

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش به خوبی نشان داد که اثرات فرسایش آبی بر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در آبخیز سرسارو به شدت منفی بود. فرسایش با حذف لایه های سطحی، کاهش ماده آلی، ویرانی ساختار خاک، کاهش عناصر غذایی و تضعیف جامعه های میکروبی، سلامت و عملکرد بوم سازگان خاک را به مخاطره می اندازد و توان تولیدی آن را کاهش می دهد. از این رو، برای جلوگیری از ویرانی بیشتر خاک و کاهش عملکرد زیستی آن، مهار

فرسایش و مدیریت جامع منابع خاک از اولویت های مهم در مناطق آسیب پذیر مانند آبخیز سرسارو است. برپایه نتایج این پژوهش پیشنهاد می شود شاخص های زیستی به عنوان ابزارهای مؤثر در پایش سلامت خاک های فرسایش یافته در نظر گرفته شوند تا بستر مناسبی برای تصمیم گیری های مدیریتی فراهم آید. در این پژوهش فرصت شناسایی گونه های میکروبی وجود نداشت تا ارتباط گونه میکروبی با تغییرات خاک ناشی از فرسایش مشخص شود. از این رو، پیشنهاد می شود همگام با بررسی جامعه های میکروبی خاک

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده‌شده در این پژوهش، با مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار مخاطب قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله
نویسنده دوم: ویرایش و بررسی نتایج
نویسنده سوم: بازبینی متن مقاله
نویسنده چهارم: بازبینی متن مقاله
نویسنده پنجم: تحلیل‌های آماری

ارتباط آنها با تغییرات ویژگی‌های خاک در شرایط فرسایش بررسی شود و اندازه رسوب در شدت‌های مختلف فرسایش ارزیابی شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه زابل به‌دلیل حمایت‌های مالی (Grant code: IR-UOZ-GR-) (8721) برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منفعی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

فهرست منابع

- Anderson JP. 1982. Soil respiration. Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 9: 831-871. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c41>
- Asghari SH, Arkhazloo HS. 2020. Effects of land use and slope on soil physical, mechanical and hydraulic quality in Heyran neck, Ardabil Province. Journal of Environmental Erosion Research. 37: 79-91. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22517812.1399.10.1.6.7>
- Banerjee S, Misra A, Sar A, Pal S, Chaudhury S, Dam B. 2020. Poor nutrient availability in opencast coalmine influences microbial community composition and diversity in exposed and underground soil profiles. Applied Soil Ecology. 152:103544. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103544>
- Bastani M, Sadeghipour A, Kamali N, Zarafshar M, Bazoot S. 2023. How does livestock graze management affect woodland soil health? Frontiers in Forests and Global Change. 6:1-8. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1028149>
- Brookes PC, Landman A, Pruden G, Jenkinson DS. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biology and Biochemistry. 17(6):837-842. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90144-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90144-0)
- Chen L, Baoyin T, Xia F. 2022. Grassland management strategies influence soil C, N, and P sequestration through shifting plant community composition in semi-arid grasslands of northern China. Ecological Indicators. 34:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108470>
- Das PP, Singh KRB, Nagpure G, Mansoori A, Singh RP, Ghazi IA, Kumar A, Singh J. 2022. Plant-soil-microbes: A tripartite interaction for nutrient acquisition and better plant growth for sustainable agricultural practices. Environmental Research. 214:113821. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113821>
- Dungait JA, Ghee C, Rowan JS, McKenzie BM, Hawes C, Dixon ER, Paterson E, Hopkins DW. 2013. Microbial responses to the erosional redistribution of soil organic carbon in arable fields. Soil Biology and Biochemistry. 60:195-201. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.025>
- Franzluebbers A. J. 2020. Soil mass and volume affect soil-test biological activity estimates. Soil Science Society of America Journal. 84(2):502-511. <https://doi.org/10.1002/saj2.20038>
- Gayan A, Borah P, Nath D, Katagi R. 2023. Soil microbial diversity, soil health and agricultural sustainability. In: Sustainable agriculture and the environment. Elsevier. pp. 107-126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90500-8.00006-3>

- González-Rosado M, Parras-Alcántara L, Aguilera-Huertas J, Lozano-García B. 2021. Soil productivity degradation in a long-term eroded olive orchard under semiarid Mediterranean conditions. *Agronomy*. 11(4):1-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040812>
- Guo Y, Wu J, Yu Y. 2022. Differential response of soil microbial community structure in coal mining areas during different ecological restoration processes. *Processes*. 10(10):1-21. <https://doi.org/10.3390/pr10102013>
- Kamali N, Sadeghipour A, Souri M, Mastinu M. 2022. Variations in soil biological and biochemical indicators under different grazing intensities and seasonal changes. *Land*. 11:1-18. <https://doi.org/10.3390/land11091537>
- Kennedy AC, Stubbs TL. 2006. Soil microbial communities as indicators of soil health. *Annals of Arid Zone*. 45:287-308.
- Lal R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*. 12(6):519-539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Lal TN, Hinterberger T, Widman G, Schröder M, Hill NJ, Rosenstiel W, Elger CE, Scholkopf B, Birbaumer N. 2004. Methods towards invasive human brain computer interfaces. In: Saul LK, Weiss Y, Bottou L (eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* 17. MIT Press.
- Li S, Shi Z, Liu WH, Li W, Liang G, Liu K. 2025. Long-term Kentucky bluegrass cultivation enhances soil quality and microbial communities on the Qinghai-Tibet Plateau. *Frontiers in Plant Science*. 16:1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1510676>
- Liu L, Sayer EJ, Deng M, Li P, Liu W, Wang X, et al. 2023. The grassland carbon cycle: Mechanisms, responses to global changes, and potential contribution to carbon neutrality. *Fundamental Research*. 3:209-218. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.09.028>
- Mandal D, Chandrakala M, Alam NM, Roy T, Mandal U. 2021. Assessment of soil quality and productivity in different phases of soil erosion with the focus on land degradation neutrality in tropical humid region of India. *Catena*. 204:105440. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105440>
- Mandal D, Patra S, Sharma NK, Alam NM, Jana C, Lal R. 2023. Impacts of soil erosion on soil quality and agricultural sustainability in the north western Himalayan region of India. *Sustainability*. 15(6):5430. <https://doi.org/10.3390/su15065430>
- Martens R. 1995. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: Potentials and limitations. *Biology and Fertility of Soils*. 19(2-3):87-99. <https://doi.org/10.1007/BF00336303>
- Mohseni N. 2019. Impact of water erosion on soil biological diversity in arid ecosystems. *Researches in Earth Sciences*. 10(2):21-33. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/esrj.10.2.21>
- Moradi HR, Rezaei V, Erfanian M. 2024. Investigation of physicochemical characteristics of soil in badland areas formation. *Researches in Earth Sciences*. 15(3):91-105. (In Persian). <https://doi.org/10.48308/esrj.2021.101282>
- Nimmo J, Lynch DH, Owen J. 2013. Quantification of nitrogen inputs from biological nitrogen fixation to whole farm nitrogen budgets of two dairy farms in Atlantic Canada. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 96:93-105. <https://doi.org/10.1007/s10705-013-9587-z>
- Plotnikova OO, Demidov VV, Farkhodov YR, Tsymbarovich PR, Semenov IN. 2024. Influence of water erosion on soil aggregates and organic matter in arable Chernozems: Case study. *Agronomy*. 14(8):1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081607>
- Qiu L, Zhang Q, Zhu H, Reich PB, Banerjee S, van der Heijden MG, Wei X. 2021. Erosion reduces soil microbial diversity, network complexity and multifunctionality. *The ISME Journal*. 15(8):2474-2489. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-00946-4>
- Qu K, Guo F, Liu X, Lin Y, Zou Q. 2019. Application of machine learning in microbiology. *Frontiers in Microbiology*. 10:827. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00827>
- Qu Y, Tang J, Li Z, Zhou Z, Wang J, Wang S, Cao Y. 2020. Soil enzyme activity and microbial metabolic function diversity in soda saline-alkali rice paddy fields of northeast China. *Sustainability*. 12(23):1-15. <https://doi.org/10.3390/su122310095>
- Rachwał K, Gustaw K, Kazimierczak W, Waśko A. 2021. Is soil management system really important? Comparison of microbial community diversity and structure in soils managed under organic and conventional regimes with some view on soil properties. *Plos one*. 16: 1-21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256969>
- Rasiah V, Kay BD. 1994. Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages. *Soil Science Society of America Journal*. 58:935-942. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800030029x>
- Saberi M, Dahmardeh Ghaleno MR, Khatibi R, Karimian V. 2025. Assessment of the effects

of water erosion on changes in soil physical, chemical, and biological properties in the Monzelab Watershed, Zahedan County. Iranian Journal of Soil and Water Research. Advance online publication. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.395713.669> 946

Saberi M, Nori M, Ebrahimi M. 2025. Microbial diversity response to changes in physical and chemical properties of soil caused by water erosion in the Dehbakari Watershed, Kerman province. Journal of Natural Environmental Hazards. Advance online publication. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/jneh.2025.51723.2110>

Sadeghi S, Petermann J, Steffan B, Brevik J, Gedeon G. 2023. Predicting microbial responses to changes in soil physical and chemical properties under different land management. Applied Soil Ecology. 188:104878. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104878>

Schuman GE, Janzen HH, Herrick JE. 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. Environmental Pollution. 116:391–396. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00215-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00215-9)

Soltani Toularoud A, Asghari S. 2021. Assessment the effect of slope aspect and position on some soil microbial indices in rangeland and forest. Environmental Erosion Research Journal. 11(1):58–74. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.52547/jeer.11.1.58>

Sui X, Zhang R, Frey B, Yang L, Liu Y, Ni H, Li MH. 2021. Soil physicochemical properties drive the variation in soil microbial communities along a forest successional series in a degraded wetland in northeastern China. Ecology and Evolution. 11:2194–2208. <https://doi.org/10.1002/ece3.7179>

Sun J, Fu B, Zhao W, Liu S, Liu G, Zhou H, et al. 2021. Optimizing grazing exclusion practices to achieve Goal 15 of the sustainable development goals in the Tibetan Plateau. Science Bulletin. 66:1493–1496. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.03.014>

Ternan JL, Williams AG, Elmes A, Hartley R. 1996. Aggregate stability of soils in central Spain and the role of land management. Earth Surface Processes and Landforms. 21:181–193. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199602\)21:2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199602)21:2)

Yang Q, Peng J, Ni S, Zhang C, Wang J, Cai C. 2024. Soil erosion-induced decline in aggregate stability and soil organic carbon reduces aggregate-associated microbial diversity and multifunctionality of agricultural slope in the Mollisol Region. Land Degradation and Development. 35(11):3714–3726. <https://doi.org/10.1002/ldr.5163>

Zhang X, Pei G, Zhang T, Fan X, Liu Z, Bai E. 2023. Erosion effects on soil microbial carbon use efficiency in the mollisol cropland in northeast China. Soil Ecology Letters. 5(4): 230176. <https://doi.org/10.1007/s42832-023-0176-4>



Analysis of the effects of water erosion on soil properties and microbial structure in the Sarsaro Watershed, Khash County

Morteza Saberi^{*1}, Vahid Karimian², Mohammad Reza Dahmardeh Ghaleno³,
Rasool Khatibi⁴, Mehdi Sarparast⁵

1 and 3- Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Assistant Professor, Nature Engineering of Department, Faculty of Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran

4- Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

5- Ph.D. in Natural Resources, Combating Desertification Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Gorgan, Natural Resources and Watershed Management Organization, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Water erosion, as one of the most important factors of soil degradation, has a significant impact on soil quality and performance in various ecosystems. The Sarsaro watershed in Khash County is considered a vulnerable area to water erosion due to specific climatic conditions and human interventions such as over grazing and loss of vegetation cover. Despite the importance of the issue, comprehensive studies that simultaneously show the physical, chemical, and biological properties of the soil in this region have not been conducted. Therefore, this study aimed to evaluate the impact of water erosion on soil changes and microbial structure in the Sarsaro watershed in order to provide strategies for sustainable natural resource management through better understanding of erosion effects.

Materials and Methods

In this study, soil sampling was carried out in a completely randomized design. First, erosion and sediment map available in the region were used to classify soil erosion intensities, including: no erosion, low erosion, moderate erosion, and severe erosion. Then, in each erosion region, four homogeneous areas with almost similar physiographic conditions were selected, and in each of them, five soil samples were taken (one sample in the center and four samples in the form of a plus sign around it). Soil sampling was carried out from a depth of 0 to 30 cm. For each erosion site, samples taken from homogeneous areas were mixed to prepare a composite sample. Immediately after collection, the soil samples were divided into two parts.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** mortezasaberi@uoz.ac.ir

Citation: Saberi, M., Karimian, V., Dahmardeh Ghaleno, M. R., Khatibi, R., Sarparast, M. 2026. Analysis of Changes in Soil Properties and Microbial Structure Due to Water Erosion in the Sarsaro Watershed, Khash County. Watershed Management Research. 38(4):146-164.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.370181.1628

Received: 26 July 2025, **Received in revised form:** 18 August 2025, **Accepted:** 22 September 2025

Published online: 01 January 2026

Watershed Management Research, Vol. 38, No.4, Ser. No: 149, Winter 2026, pp.146-164.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Some of the samples intended for measuring biological properties were transported to the laboratory in sealed containers in the vicinity of dry ice without sieving and while maintain the initial humidity conditions, and were stored in the refrigerator until the experiments were performed. The other part of the samples was used to measure physical and chemical properties after drying in the open air and passing through a 2 mm sieve. One-way analysis of variance (ANOVA) of soil properties data was performed using SPSS software. Comparison of means was performed using Duncan's test with a 95% confidence level. Also, the correlation analysis between the studied investigated measures was performed in the R software.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that intensity of erosion effects on soil physical properties was significant ($p < 0.01$). The sand size increased significantly from 25% in non-eroded soils. The correlation of silt and clay with erosion intensity was negative (-0.96) and (-0.95), respectively, and the amount of both decreased. Soil moisture in non-eroded lands was 12.5%, which decreased to 6.09% in severely erosion ($p < 0.01$). Also, porosity decreased (negative correlation -0.97) and apparent specific gravity increased (positive correlation). Soil chemical parameters such as organic carbon from 2.23% to 0.93%, total nitrogen from 0.31% to 0.08%, absorbable potassium and absorbable phosphorus decreased significantly ($p < 0.01$). Electrical conductivity increased significantly (positive correlation of 0.92). Changes in pH were not significant ($p > 0.05$). Soil biological properties were severely reduced: catalase enzyme activity decreased from 28.05 units in non-eroded soils to 3.57 units in severely eroded soils ($p < 0.01$). Microbial biomass carbon decreased from 223.6 mg to 93.3 mg, microbial biomass nitrogen from 31.6 mg to 7.8 mg, and the population of microorganisms and basal microbial respiration also showed significant decreases ($p < 0.01$). The soil microbial contribution also decreased and its correlation with erosion intensity was high and negative (greater than -0.96). These data indicate the severe and negative effects of water erosion in the physical, chemical, and biological quality of the soil, and the reduction in the health and productive capacity of ecosystem.

Conclusion and Suggestions

The results of this study demonstrated that the effect of water erosion on the physical, chemical, and biological quality of soils in the Sarsaru watershed were severe and negative. Erosion, through the removal of surface layers, reduction of organic matter, degradation of soil structure, depletion of essential nutrients, and weakening microbial communities, jeopardized the health and function of soil ecosystems and reduces their productive capacity. Therefore, to prevent further soil destruction and reduction in its biological function, controlling erosion and comprehensive management of soil resources are important priorities in vulnerable areas such as the Sarsaru watershed. Based on the results of this study, it is suggested that biological indicators be considered as effective tools in monitoring the health of eroded soils to provide a suitable basis for management decisions.

Keywords: Arid and semi-arid regions, biological indicators, Catalase enzyme, physical and chemical properties, soil stability

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The authors from the University of Zabol gratefully acknowledge the financial support provided for this research (Grant code: IR-UOZ-GR-8721).

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' Contribution

Author 1: Conceptualization, conducting qualitative/statistical analyses, drafting the initial version of the manuscript

Author 2: Editing and reviewing the results

Author 3: Reviewing the manuscript

Author 4: Reviewing the manuscript

Author 5: Statistical analyses

نام‌های داورانی که در این شماره با نشریه همکاری کردند:
(به ترتیب حروف الفبا)

پاک‌پرور، مجتبی
چوبین، بهرام
حزباوی، زینب
حسن‌پور، رضا
حق‌آبی، امیرحمزه
خلیلی، داور
دسترنج، علی
دستورانی، محمدتقی
رستمی‌خلج، محمد
زارع، محمد
سلیمان‌پور، سید مسعود
صالح، ایمان
صالح‌پور جم، امین
صوفی، مجید
عرفانی‌فرد، سید یوسف
قهاری، غلامرضا
کاویان، عطاالله
کله‌هوایی، مهین
مصطفی‌زاده، رئوف
مصفاei، جمال
مهدوی، سیده خدیجه
نوروزی، علی‌اکبر



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مراکز تحقیقات، آموزش، پژوهش و توسعه کشاورزی

شیوه‌نامه نگارش مقاله برای نشریه علمی پژوهش‌های آبخیزداری

عنوان مقاله (حداکثر ۲۰ کلمه با قلم بی- نازنین ۱۵ پررنگ و کلمات انگلیسی احتمالی در عنوان، با قلم Times New Roman 14 Bold)

- نام و نام خانوادگی نگارنده اول*^۱، نام و نام خانوادگی نگارنده دوم^۲، ... (بی- نازنین ۱۱ پررنگ)
- ۱- مرتبه علمی نگارنده اول، نام گروه آموزشی، نام دانشکده، نام دانشگاه یا سازمان، نام شهر، نام کشور (قلم بی- نازنین ۱۱)
- ۲- مرتبه علمی نگارنده دوم، نام گروه آموزشی، نام دانشکده، نام دانشگاه یا سازمان، نام شهر، نام کشور (قلم بی- نازنین ۱۱)

نکته مهم: در مورد جایگاه (ترتیب) نویسندگان و همچنین سمت سازمانی نویسنده‌ها آن است که جایگاه و عنوان‌های نوشته شده در مقاله با جایگاه و عنوان‌هایی که نویسنده مسئول در تارنمای نشریه هنگام ثبت نام درج می‌کند، باید دقیقاً یکسان باشند.

درج کد آرکید همه نویسندگان که در تارنمای نشریه در هنگام ارسال مقاله دریافت شده است در دایره سبز رنگ کنار نام نویسندگان، الزامی است. (روش وارد کردن کد آرکید: روی دایره نماد کد آرکید (دایره سبز رنگ) کلیک سمت راست کنید از کادر باز شده گزینه Edit Hyperlink.. را انتخاب کرده و مجدداً در کادر باز شده در بخش Address: کد آرکید را برای هر نویسنده به جای اعداد صفر بنویسید و سپس گزینه ok را انتخاب کنید. در بخش انگلیسی هم این کد را در کنار نام هر نویسنده باید نوشته شود).

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

چکیده مبسوط باید به روشنی ارائه‌گر محتویات مقاله، بدون استفاده از علائم اختصاری، شکل، جدول و پاورقی بوده و به تفکیک دارای ساختاری به صورت مقدمه و هدف، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها و واژگان کلیدی باشد. تعداد کلمه‌ها در چکیده مبسوط بدون احتساب عنوان مقاله و واژه‌های کلیدی، بایستی دارای کمینه ۶۰۰ و بیشینه ۹۰۰ کلمه باشد. برای فونت قسمت چکیده مبسوط، کلمات فارسی با قلم بی- نازنین ۱۲ و کلمات انگلیسی با قلم Times New Roman 11 استفاده شود. تعداد کلمات در هر قسمت از چکیده مبسوط، حتی‌المقدور، بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کلمه باشد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی نویسنده مسئول (قلم Times New Roman 11)

استناد: نام خانوادگی نویسنده اول، حرف اول نام نویسنده اول، نام خانوادگی نویسنده دوم، حرف اول نام نویسنده دوم، ... سال انتشار به عدد. عنوان کامل مقاله. پژوهش‌های آبخیزداری، ؟؟(؟): ؟؟-؟؟.

شناسه دیجیتال: (قلم Times New Roman 11)

تاریخ دریافت: ؟؟؟/؟؟/؟؟، تاریخ بازنگری: ؟؟؟/؟؟/؟؟، تاریخ پذیرش: ؟؟؟/؟؟/؟؟، تاریخ انتشار: ؟؟؟/؟؟/؟؟

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ؟؟؟، دوره ؟؟، شماره ؟؟، شماره پیاپی ؟؟؟، نام فصل، سال انتشار، صفحه‌های ؟؟ تا ؟؟.

©نویسندگان

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



مواد و روش‌ها

مواد و روش‌ها، در این قسمت آورده شود. (حتی‌المقدور بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ کلمه)

نتایج و بحث

نتایج و بحث، در این قسمت آورده شود. (حتی‌المقدور بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ کلمه)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتیجه‌گیری و پیشنهادها در این قسمت آورده شود. (حتی‌المقدور بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ کلمه)

واژگان کلیدی

به ترتیب حروف الفبای فارسی و انگلیسی، با کمینه ۴ و بیشینه ۶ کلمه، در انتهای چکیده مبسوط آورده شود. (قلم بی-نازنین ۱۱ پررنگ)

مقدمه (قلم بی-نازنین ۱۲ پررنگ)

در این الگوی تهیه شده، نمونه روش تهیه مقاله برای «مجله علمی پژوهش‌های آبخیزداری» آمده است و قسمت‌ها و بخش‌های مختلف آن، انواع قلم‌ها و اندازه آن‌ها که در تهیه یک مقاله به کار می‌روند شرح داده شده است. برای سهولت کار، کلیه شیوه‌های مورد نیاز برای بخش‌های مختلف، از پیش تعریف شده و تنها کافی است که نویسنده، مقاله خود را با این شیوه‌نامه تطبیق و متن خود را در آن قرار دهد.

بخش‌های اصلی مقاله ارسالی به این نشریه بایستی به ترتیب دارای: عنوان فارسی، چکیده مبسوط فارسی، واژه‌گان کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها (منطقه مطالعه‌شده و روش پژوهش)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها، سپاس‌گزاری (اختیاری)، تضاد منافع نویسندگان، دسترسی به داده‌ها، مشارکت نویسندگان، منابع، عنوان انگلیسی، چکیده مبسوط انگلیسی و واژگان کلیدی انگلیسی باشد.

مقاله با استفاده از نرم‌افزار MS Word 2010 نسخه ۲۰۱۰ یا بالاتر در فرمت DOCX و بیشینه ۱۴ صفحه تهیه شود.

متن مقاله باید در صفحات A4 با قلم نازنین ۱۲ معمولی برای کلمات فارسی و قلم Times New Roman 11 برای کلمات انگلیسی تایپ شود. بایستی فاصله متن از بالا در صفحه اول و صفحه عنوان انگلیسی ۵۰ میلی‌متر و در سایر صفحات ۳۰ میلی‌متر

باشد. در کلیه صفحات فاصله از پایین ۳۰ میلی‌متر و از چپ و راست نیز ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود. متن مقاله به صورت دو ستونی با فاصله ۸ میلی‌متر بین دو ستون تایپ شود. فاصله سطرها باید تک فاصله‌ای (Single) باشد. هیچ پاراگرافی، نیاز به تورفتگی ندارد. عنوان‌های هر بخش از ابتدای ستون و بدون رها نمودن فاصله تایپ شود. عنوان فارسی هر بخش باید با قلم بی-نازنین پررنگ ۱۲ و عنوان انگلیسی با قلم Times New Roman 11 به صورت Bold تایپ شود. عنوان‌های فرعی فارسی با قلم بی-نازنین پررنگ ۱۱ و زیرعنوان انگلیسی با قلم Times New Roman 10 به صورت Bold نوشته شوند. در این نشریه از عدد و شماره‌گذاری، برای مشخص کردن ترتیب عنوان‌ها استفاده نمی‌شود. تا حد امکان، از به کار بردن کلمات انگلیسی در متن مقاله اجتناب شود و معادل فارسی آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

برای کلماتی که جدا شدن بخش‌های آن‌ها نیاز به یک فاصله کامل ندارد، از نیم‌فاصله استفاده شود.

در عنوان مقاله و تمام بخش‌های مقاله، به جای استفاده از واژه "حوزه آبخیز" یا "حوزه آبریز" و موارد مشابه، از واژه فارسی "آبخیز" استفاده شود. همچنین به جای استفاده از "ی" در انتهای کلماتی که به "ه" ختم می‌شود از "ء" استفاده شود. مانند: (نادرست: منطقه‌ی. درست: منطقه).

مطالب مربوط به واژه‌نامه، توضیحات جانبی مختصر، معادل لاتین اسامی و اصطلاحات و بیان کامل واژه‌های مخفف بایستی به صورت

سپاس‌گزاری

نویسنده (نویسندگان) می‌توانند (در صورت تمایل) در این قسمت از سازمان‌ها، دانشگاه‌ها، و یا افرادی که در انجام این پژوهش او (ایشان) را یاری کرده‌اند سپاس‌گزاری و قدردانی کنند. (وجود این بخش، اختیاری است).

تضاد منافع نویسندگان

در صورتی که تضاد منافع در خصوص مقاله وجود دارد در این بخش قید شود، در غیر این صورت، عبارت زیر درج شود:

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

(وجود این بخش، الزامی است).

دسترسی به داده‌ها

در این بخش، شیوه دسترسی به داده‌ها و گدهای استفاده شده، و یا نقشه‌ها و نتایج تولید شده در پژوهش ذکر می‌شود. اگر داده‌ها و اطلاعات در متن مقاله ارائه شده است، ذکر شود که همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. اگر غیر از این، موارد اطلاعاتی قابل ارائه است؛ عبارت زیر درج شود: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش، با مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار مخاطب قرار خواهد گرفت. (وجود این بخش، الزامی است).

مشارکت نویسندگان

در این بخش شیوه مشارکت نویسندگان در انجام پژوهش ارائه می‌شود. برای درج این بخش، از شیوه زیر به‌عنوان نمونه می‌توان استفاده کرد. شایان ذکر است می‌توان بخش‌هایی از انجام کار، برای افراد مشارکت‌کننده در مقاله مشترک باشد.

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله.
نویسنده دوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج.

زیرنویس^۱ و شماره‌دار و به‌صورت شماره‌گذاری پیوسته در پاورقی آورده شوند. در پاورقی، بایستی حروف فارسی با قلم بی-نازنین ۱۰ و حروف لاتین با قلم Times New Roman 9 تایپ شوند.

شیوه (Style) های مورد نیاز برای کلیه قسمت های مقاله، در این مقاله تعریف شده‌اند و مؤلفان می‌توانند پس از انتقال محتوای آن به این فایل با استفاده از Styles در منوی Home به‌سرعت فایل مقاله خود را با شیوه مورد نظر تطبیق دهند. این کار با استفاده از ابزارهای | Copy Past و Format Painter نیز در این مقاله به سادگی انجام‌پذیر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

موقعیت جغرافیایی و دیگر مطالب برای معرفی منطقه پژوهش در این بخش آورده می‌شود. ارائه نقشه، در قالب موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده، در این بخش توصیه می‌شود.

روش پژوهش

در این قسمت، روش پژوهش، به‌صورت دقیق و روشن، آورده می‌شود.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های انجام شده در پژوهش، با تأکید بر یافته‌های جدید، همراه با بحث‌های مرتبط، آورده می‌شوند. در این قسمت از جدول‌ها، شکل‌ها، نمودارها نیز استفاده و بحث در مورد آن‌ها انجام می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتیجه‌گیری درباره نتایج به‌دست آمده و تفسیر و جمع‌بندی یافته‌ها با تأکید بر مقایسه با پژوهش‌های مشابه، و تحلیل علمی نتایج به‌دست آمده و دادن پیشنهادها کاربردی، در این قسمت آورده می‌شود.

1-Footnote

خط چهارچوب اطراف نمودارها برداشته شود و در جدول‌ها تنها خط‌های افقی بالا و پایین ردیف اول و خط افقی پایین ردیف آخر آورده شوند. فقط جدول‌ها و شکل‌های کوچک مانند جدول ۱، که پهنایی متناسب با پهنای مطالب متن داشته باشند در داخل ستون قرار می‌گیرند.

جدول ۱- عنوان جدول (بی-نازنین ۱۱ پررنگ).

Table 1- (Times New Roman 10 Bold)

Model components	Factor	Index
Driving Force	D ₁	People
Response	R ₃	Cultural actions
Pressure	P ₅	Rainfall
State	S ₁	Drop rate

اگر پهنای شکل یا جدولی متناسب با پهنای مطالب متن نباشد (مانند شکل ۱ یا جدول ۲)، باید آن را به صورت تک ستونه آورد.

روش تغییر ستون از دو به یک یا برعکس در نسخه‌های مختلف ورد متفاوت است. به عنوان مثال در ورد ۲۰۱۶ روش کار انتخاب نوار Layout به صورت زیر می‌باشد: بعد از طی این مسیر با توجه به هدف، حالت دو ستونه یا تک ستونه انتخاب می‌شود و از فهرست کشویی Apply to گزینه This point forward را انتخاب می‌کنیم.

برای اجرای صفحه‌بندی مطلوب می‌توانید از سطرهای اضافه که قبل یا بعد از شکل‌ها، جدول‌ها یا منابع درج می‌کنید، بهره ببرید.

از آنجا که این مجله به صورت کاملاً رنگی منتشر می‌شود، لازم است که به منظور متمایز نمودن دیاگرام‌ها از رنگ‌های مختلف استفاده شود و از روش‌های متمایزسازی مختص تصاویر سیاه و سفید (مانند استفاده از ضخامت خطوط مختلف، نمادها و یا استفاده از خطوط ممتد، نقطه‌چین و خط‌چین) پرهیز شود.

نویسنده سوم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری.

(وجود این بخش، الزامی است).

روابط ریاضی

روابط باید به ترتیب و در جدولی مشابه جدول زیر از ابتدا تا انتها شماره‌گذاری شوند.

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \quad (1)$$

شماره معادلات باید در انتهای سمت راست هر ستون و در امتداد خط حاوی معادلات و در پرانتز قید گردد. توضیحات تمام متغیرها، سنج‌ها و نمادهای جدید در روابط، چنانچه پیش از آن توضیح داده نشده‌اند، باید بدون فاصله بعد از رابطه بیان شوند. نکته دیگر اینکه از درج فرمول به فرمت تصویر اجتناب شود و از روابط فرمول نویسی در نگارش آنها استفاده کنید تا افت کیفیت در نسخه نهایی نداشته باشیم.

سیستم واحدها

سیستم واحد قابل قبول، سیستم بین‌المللی (SI) بوده و در مواقع ضروری، باید معادل آن در سیستم آحاد دیگر در داخل پرانتز به کار رود.

توضیحات در مورد جدول‌ها و شکل‌ها و نمودارها

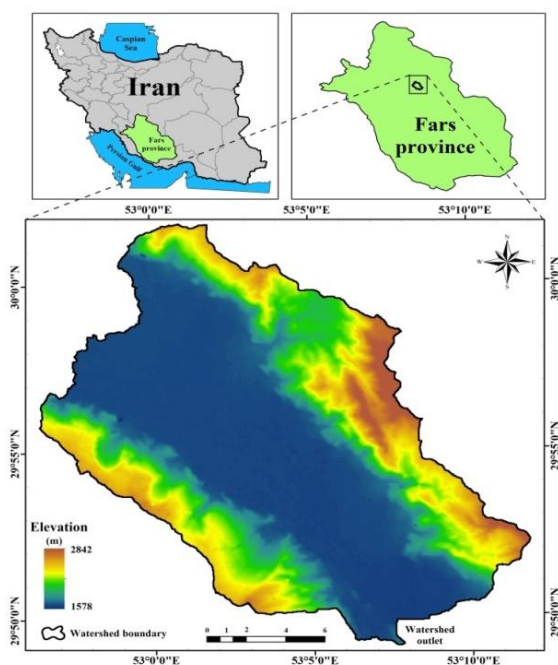
جدول‌ها و شکل‌ها باید به‌ترتیبی که در متن به آنها اشاره شده است شماره‌گذاری و جا داده شوند. عنوان جدول‌ها در بالای آنها، و عنوان شکل‌ها در زیر آنها به دو زبان فارسی و انگلیسی وسط‌چین نوشته شود. عنوان انگلیسی در زیر عنوان فارسی قرار گیرد. **همه نوشتار روی شکل‌ها، نمودارها و داخل جدول‌ها باید به انگلیسی باشد.** قلم فارسی عنوان جدول‌ها و شکل‌ها بی-نازنین پررنگ ۱۱^۲ و قلم انگلیسی آنها Times New Roman 10 Bold انتخاب شده و قلم انگلیسی همه نوشتار روی شکل‌ها، نمودارها و داخل جدول‌ها Times New Roman 10 باشند.

روش ارجاع در متن

روش این نشریه بر اساس توصیه‌های شورای ویراستاران علمی (سی‌اس‌ای^۳) در وبگاه مربوطه^۴، در ویراست هفتم کتاب مرجع آنان به نام روش و قالب علمی: دستورکار سی‌اس‌ای برای نویسندگان، ویراستاران و ناشران (۲۰۰۶) و با انتخاب روش نام سال سی‌اس‌ای است. همه منابع (اعم از فارسی و انگلیسی) مورد استفاده در متن مقاله باید با نام نویسنده (گان)، به زبان فارسی، و با ذکر تاریخ منبع مورد استفاده (بر حسب سال

میلادی)، در داخل علامت دو کمان () نوشته شوند. مانند: کوثر (۲۰۱۹)، و یا تامسون و همکاران (۲۰۲۱). اگر منبع استفاده شده در پایان جمله آورده می‌شود، نام نویسنده و تاریخ باید درون دو کمان () نوشته شود. مانند: (احمدی ۲۰۲۲)، و (برادفورد و همکاران ۲۰۲۳).

فهرست منابع در پایان مقاله به ترتیب حروف الفبا آورده شود، و هیچ منبعی در زیرنویس آورده نشود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Figure 1- Geographical location of the study area.

۲. اگر نام نویسنده بخشی از جمله است، تنها تاریخ را در دو کمان () بگذارید:
مثال: هاگیهارا و اینو (۲۰۲۱) دریافتند که ...
۳. کار انجام شده بیش از دو نویسنده: نام نویسنده اصلی، سپس عبارت "و همکاران" و بعد تاریخ را بنویسید.
مثال: (هاگیهارا و همکاران ۲۰۲۳)

۱. ارجاع به منبع را با آوردن نام (های) نویسنده (گان) و پس از آن سال انتشار نوشته انجام دهید. در هر ارجاع برای جدا کردن نام و تاریخ از دو کمان () استفاده کنید. پس از نام یک فاصله خالی بگذارید، اما ویرگول نگذارید: تازه‌ترین پژوهش بر شدت بارندگی در این منطقه (سیپپون ۲۰۱۹) نشان می‌دهد که ..

۵. بیش از دو کار انجام شده یک نویسنده در یک سال: برای تمایز میان منابع چاپ شده از یک نویسنده در یک سال از حروف الفبا (الف، ب، و مانند آنها) استفاده کنید. این ترتیب را هنگام فهرست کردن آنها در بخش منابع نیز حفظ کنید.
مثال: راش (۲۰۲۰الف، ۲۰۲۰ب) پذیرفت که ...

۴. بیش از دو کار انجام شده یک نویسنده: نام نویسنده و سپس تاریخ‌ها را به ترتیب زمانی بیاورید. برای جدا کردن تاریخ‌ها یک ویرگول و یک فاصله بگذارید:
مثال: وایل (۱۹۹۹، ۲۰۱۰، ۲۰۲۲) مدل‌های مختلف برآورد سیلاب را شرح داده است.

جدول ۲- عنوان جدول (قلم بی- نازنین ۱۱ پرننگ).

Table 2- (Times New Roman 10 Bold)

Component	Number of items	Calculated Cronbach's alpha
Driving force (D)	5	0.845
Pressure (P)	6	0.720
Response (R)	7	0.913

۲. پس از نام نویسنده، سال انتشار می‌آید. سپس یک نقطه، عنوان مقاله، نام مجله، یک نقطه، شماره مجلد نشریه، شماره انتشار در داخل دو کمان ()، یک نشانه دونقطه (:،) و صفحه‌های مقاله آورده می‌شود. برای نوشتن شماره صفحه، همه شماره‌ها را بیاورید: (۱۰۴۵-۱۰۳۷، نه ۴۵-۱۰۳۷). برای فاصله میان دو شماره صفحه از فاصله متوسط (خطِ ان) - به جای خط تیره - استفاده کنید (نادرست: ۲۳۵-۲۵۰، درست: ۲۵۰-۲۳۵).

۳. در انتهای منابعی که نسخه اصلی آن فارسی است باید در داخل پرانتز کلمه In Persian آورده شود.
۴. فهرست منابع را شماره‌گذاری نکنید.
۵. عنوان نشریات و مجلات علمی را به شکل کامل بیاورید. حرف اول عنوان هر نشریه یا مجله باید بزرگ باشد و بقیه حروف کوچک باشد.

۶. کارهایی که یک سازمان به جای نویسنده منتشر کرده است: نام سازمان یا گروه را پیش از تاریخ چاپ بنویسید. مثال: اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به تازگی منتشر شده است (خدمات ملی آمار کشاورزی ۲۰۲۱).

اگر نام این سازمان‌ها بسیار طولانی است، یا باید بارها در نوشتار به آنها ارجاع دهید، می‌توانید کوتاه‌شده نام اصلی آنها را بنویسید:

مثال: اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به تازگی منتشر شده است (یواس دی ای ۲۰۰۰).

در فهرست منابع نیز نخست واژه کوتاه‌شده و سپس نام کامل را بیاورید.

مثال:

USDA-National Agricultural Statistics Service. 2000.

فهرست منابع

همه منابع مورد استفاده در متن مقاله (فارسی و انگلیسی) باید با الفبای انگلیسی و با دستورکار نشریه آورده شود و قلم آن Times New Roman 10 و هر منبع در صورت داشتن شناسه دیجیتال یا DOI؛ حتماً لازم است این کد نیز به طور کامل، نوشته شود.

۱. پس از نام‌خانوادگی، تنها حرف اول نام کوچک نویسنده‌ها می‌آید و این حرف‌ها با نقطه یا فاصله از هم جدا نمی‌شود. حرف اول تنها در اولین واژه عنوان مقاله با حروف بزرگ نوشته می‌شود.

مثال‌های لازم برای نگارش فهرست منابع

Berengena J, Gavilan P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly adjective semiarid environment. Irrigation and Drainage Engineering, 131(2):147-163.

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).

Subramanya K. 1994. Engineering Hydrology. Tata McGraw-Hill Education.

Faculty of Natural Resources. Tehran University, 430 p. (In Persian).

Niknahad Gharemakher H, Aghtabye A, Akbarlou M. 2018. Effects of grazing exclusive 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).

Ph.D. Dissertation. Faculty of Natural Resources. Tehran University, 430 p. (In Persian).

Castejon M, Romero–Munoz F, Garcia L. 1987. Phenology and control of Orobanche cornea in sunflower with glyphosate. In: Weber HC, Forstreuter W, Editors. Parasitic flowering plants. Marburg, F.R.G., pp. 121–126.

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.

Ghorbani M. 2012. The role of social networks in operation mechanisms of rangeland (Case Study: Taleghan area). Ph.D. Dissertation.



Title (Font: Times New Roman 14 Bold)

Author^{1*}, Author², Author³ (Font: Times New Roman 10 Bold)

- 1- Position, Department, Faculty (Office of an organization), University (Organization), City, Country
(Font: Times New Roman 10)
- 2- Position, Department, Faculty (Office of an organization), University (Organization), City, Country
(Font: Times New Roman 10)
- 3- Position, Department, Faculty (Office of an organization), University (Organization), City, Country
(Font: Times New Roman 10)

Extended Abstract (Font: Times New Roman 12 Bold)

Introduction and Goal (Font: Times New Roman 11 Bold)

The extended abstract must include the title, author(s), introduction and objective, materials and methods, results and discussion, conclusion and suggestions. The extended abstract should be typed with single spacing using size 11 Times New Roman font. Extended abstract should summarize the contents of the paper and contain a minimum of 700 and maximum of 1000 words (With a logical balance between different sections of the abstract). Figures or Tables should not be included in the extended abstract. The total number of words should be about 200-250 words in the Introduction and objective section.

Materials and Methods (Font: Times New Roman 11 Bold)

The methodology must be clearly stated and described in sufficient detail or with sufficient references. The total number of words should be about 200 to 250 words in this section.

Results and Discussion (Font: Times New Roman 11 Bold)

The findings and arguments of the work should be explicitly described. Note that no Tables, images and figures should be provided in the results and discussion section. The total number of words should be about 200 to 250 words in this section.

Conclusion and Suggestions (Font: Times New Roman 11 Bold)

Conclusions should include (1) the principles and generalizations inferred from the results, (2) any exceptions to, or problems with these principles and generalizations, (3) theoretical and/or practical implications of the work, and (5) conclusions drawn and recommendations. This section should contain about 200-250 words.

Keywords: The authors should provide four to six keywords that are consistent with those in Persian (Font: Times New Roman 10 Bold)

Article Type: Research Article

***Corresponding Author's E-mail:** ??????

Citation: ?????, ?, ?????, ?, ?????, ?. Year ?????. Title paper. Watershed Management Research. ??(?): ??-??.

DOI: ????????????????

Received: ????????, **Received in revised form:** ????????, **Accepted:** ????????,

Published online: ????????

Watershed Management Research, Vol. ??, No. ?, Ser. No: ???, Season ????, pp. ??-??.

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



Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of **XXXXX** for the financial and logistical supports who significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article. **If there is a conflict of interest, please state it in this section.**

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author. **/OR/** We have no permission to release data and codes.

Authors' Contribution

(For Example) Author 1: Writing - original draft preparation

(For Example) Author 2: Resources, Software, Manuscript editing

(For Example) Author 3: Formal analysis and investigation

(For Example) Author 4: Visualization, Supervision

(For Example) Author 5: Conceptualization, methodology

Watershed Management Research Journal

Founder: Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Fars
Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
ISSN: 2981-2038 Vol. 38, No. 4, Ser. No. 149, Winter 2026

Director in Chief: A. Moradi - Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Fars
Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research,
Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Editor in Chief: A.A. Noroozi- Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research
Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Editorial Board :

M.T. Dastorani- Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural
Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

S.Y. Eerfanifard- Associate Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of
Geography, Tehran University

A.H. Haghiabi- Professor, Department of Water Engineering, Lorestan University Ataollah Kavian-
Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural and Natural Resources
University

D. Khalili - Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University,
Shiraz, Iran A.A. Noroozi- Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research
Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

S.M. Soleimanpour- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research
Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural
Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran M. Soufi- Emeritus
Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars
Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research,
Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

M. Zare- Professor of Earth Sciences Department, College of Sciences, Shiraz University

Executive Manager: S.M. Soleimanpour- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed
Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education
Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Language Editor and Editorial Office: M. Enayati - M.Sc. Expert, Soil Conservation and
Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research
and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO),
Shiraz, Iran

Statistics Consultant: L. Jowkar- Emeritus Fellow, Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization
(AREEO), Shiraz, Iran

Page Layout Expert: P. Haghighi - M.Sc. Expert, Soil Conservation and Watershed Management
Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center,
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Address: Office of the Journal of Watershed Management Research, Fars Agricultural and Natural
Resources Research and Education Center, Janbazan Ave. Modarres Blvd. Shiraz, I.R. Iran

Postal code: 71558-63511

POB: 71555-617

Phone: +987137204959

Website: <http://wmrj@areeo.ir>

Email: wmrj@areeo.ac.ir



Watershed Management Research

149

ISSN: 2981-2038

Vol. 38, No. 4, Ser. No. 149, Winter 2026

- **Zahra Zarei1, Seyed Ali Akbar Moosavi, Mehdi Zarei, Mohammad Amin Nematollahi**
Zahra Ali Dastranj, Hamzeh Noor, Amin Salehpour Jam..... 1
- **Optimization Groundwater Monitoring Network Design Using a Combined Data Mining and NSGA-II Genetic Algorithm Approach in the Shamil-Ashkara Aquifer, Hormozgan Province**
Hamid Gholami, Mojtaba Mohammadi, Maryam Zare Hourieh Zhatkesh Karmi , Arash Jamshidi 23
- **Analysis of Participation groups in the Context of Demographic Characteristics of the Benchele Watershed of Kermanshah Province Plain**
Adel Soltani, Reza Ghazavi, Siamak Dokhani 53
- **Identification and Prioritization of Factors Affecting the Lack of Sustainable Participation of Rural Communities in Watershed Management Projects in the Sana Dam Watershed, Bushehr Province**
Ali Jafari, Parviz Bayat 72
- **Investigation of the Physicochemical Properties of Marls in the Western Maharlu Watershed and Their Effects on Erosion and Soil Conservation**
Hamid Hosseinimarandi, Seyed Masoud Soleimanpour, Maryam Enayati, Abolhassan Moghimi, Hamid Reza Peyrowan 88
- **Spatial Prediction of Flood Susceptibility in the Zarineh-Rud Watershed using a Simple Bayes Machine-Learning Model**
Farnoush Mohammadi, Aref Bahmani..... 108
- **Assessment of Dust Event Frequency in the North Lake Urmia Based on MAIAC-Derived Aerosol Retrievals**
Maryam Fathi, Hesam Ahmady Birgani..... 128
- **Analysis of the effects of water erosion on soil properties and microbial structure in the Sarsaro Watershed, Khash County**
Morteza Saberi, Vahid Karimian, Mohammad Reza Dahmardeh Ghaleno, Rasool Khatibi, Mehdi Sarparast 146