



پژوهش‌های آبخیزداری

۱۴۸

شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴

دوره ۳۸، شماره ۳

- بررسی اقدامات آبخیزداری با استفاده از ماتریس ارزیابی اثرات سریع (RIAM) در آبخیز خانیک گناباد
علی دسترنج، حمزه نور، امین صالح پور جم ۱
- پایداری سازه‌های حفاظتی بندر گناوه در برابر امواج شمالی خلیج فارس
محمد رضا غریب رضا، مهدی نیکوکار، گیتا برادران ابراهیمی، ارسلان پناهی، احسان صفا ۱۶
- شناسایی مناطق مستعد به خطر فرونشست و عامل‌های مؤثر بر آن با استفاده از مدل‌های GLM و Cforest در دشت کردی شیرازی
راضیه صیحانی پرشکوه، حمید غلامی، یحیی اسماعیل پور، علیرضا کمالی، مریم زارع رشکویه ۴۰
- سنجش تاب‌آوری اجتماعی - فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب با استفاده از روش TOPSIS
امین صالح پور جم، نورالدین رستمی، شکوفه عبدالی، جمال مصفاei ۵۷
- ارزیابی کارایی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی
سید مسعود سلیمان پور، امید رحمتی، صمد شادفر، مریم عنایتی ۷۸
- توزیع مکانی کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی مراتع آبخیز چهلگزی شهرستان سمنان، استان کردستان
صلاح الدین زاهدی، رستم خلیفه زاده ۱۰۰
- بررسی آثار اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیل در آبخیزهای آب‌ماهی و چیکان-مورزیان استان فارس
محمد رضا غریب رضا، مهدی نیکوکار، گیتا برادران ابراهیمی، ارسلان پناهی، احسان صفا ۱۲۰
- دیدگاه روستاییان پیرامون اثرات طرح آبخیزداری چغل در شهرستان کهگیلویه
مصطفی احمدوند، آیت اله کرمی، مریم آفریدونی ۱۳۸

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 ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز 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 حق‌آبی، 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 فارس

پژوهش‌های آب‌نخزرداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآخذ تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

فهرست

شماره ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴

بررسی اقدامات آبخیزداری با استفاده از ماتریس ارزیابی اثرات سریع (RIAM) در آبخیز خانیک گناباد

علی دسترنج، حمزه نور، امین صالح پور جم ۱

پایداری سازه‌های حفاظتی بندر گناوه در برابر امواج شمالی خلیج فارس

محمد رضا غریب رضا، مهدی نیکوکار، گیتا برادران ابراهیمی، ارسلان پناهی، احسان صفا ۱۶

شناسایی مناطق مستعد به خطر فرونشست و عامل‌های مؤثر بر آن با استفاده از مدل‌های GLM و Cforest در دشت کردی شیرازی

راضیه صیحانی پرشکوه، حمید غلامی، یحیی اسماعیل پور، علیرضا کمالی، مریم زارع رشک‌نویه ۴۰

سنجش تاب‌آوری اجتماعی - فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب با استفاده از روش TOPSIS

امین صالح پور جم، نورالدین رستمی، شکوفه عبدالی، جمال مصفا ۵۷

ارزیابی کارایی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی

سید مسعود سلیمان پور، امید رحمتی، صمد شادفر، مریم عنایتی ۷۸

توزیع مکانی کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی مراتع آبخیز چهلگزی شهرستان سمنان، استان کردستان

صلاح الدین زاهدی، رستم خلیفه زاده ۱۰۰

بررسی آثار اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیل در آبخیزهای آب‌ماهی و چیکان - مورزیان استان فارس

محمد رضا غریب رضا، مهدی نیکوکار، گیتا برادران ابراهیمی، ارسلان پناهی، احسان صفا ۱۲۰

دیدگاه روستاییان پیرامون اثرات طرح آبخیزداری چغل در شهرستان کهگیلویه

مصطفی احمدوند، آیت اله کرمی، مریم آفریدونی ۱۳۸



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸



مآخذ تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

بررسی اقدامات آبخیزداری با استفاده از ماتریس ارزیابی اثرات سریع (RIAM) در آبخیز خانیک گناباد

علی دسترنج^{۱*}، حمزه نور^۲، امین صالح پور جم^۳

- ۱- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
- ۲- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
- ۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

امروزه، به دلیل اهمیت طرح‌های آبخیزداری و پیامدهای پرشمار آنها، نمی‌توان از نتایج اجرای این طرح‌ها در مناطق گوناگون بر معیشت ساکنان و نیازهای آن‌ها چشم‌پوشی کرد. ارزیابی نتایج و اثرات اقدامات آبخیزداری برای دستیابی به نتایج سودمند و افزایش کارایی، لازم است. از این رو، این پژوهش با هدف شناخت و ارزیابی اندازه اثربخشی اقدامات آبخیزداری انجام‌شده به وسیله اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی از دیدگاه کارشناسان آبخیز خانیک گناباد در استان خراسان رضوی، انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، برای ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری از روش ماتریس ارزیابی اثرات سریع (RIAM) و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. از این رو، در مرحله میدانی، اطلاعات جامعی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی (شامل: نوع، تعداد، سال ساخت، اندازه ابعاد سازه‌های آبخیزداری اجرا شده) در آبخیز خانیک گناباد جمع‌آوری شد. سپس، با استفاده از روش (RIAM) اثرات اقدامات آبخیزداری ارزیابی شد. در این پژوهش، معیارهای مهم و اثرگذار در چهار بخش اقتصادی، اجتماعی، فیزیکی و بوم‌شناختی طبقه‌بندی شدند.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: dastranj66@gmail.com

استناد: دسترنج، ع، نور، ح، صالح پور جم، ا، ۱۴۰۴. بررسی اقدامات آبخیزداری با استفاده از ماتریس ارزیابی اثرات سریع (RIAM) در آبخیز خانیک گناباد. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸ (۳): ۱۵-۱.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2025.367745.1603

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱ تا ۱۵.

© نویسندگان

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



به هر کدام از معیارها بر اساس اهمیت شرایط و موقعیت زمانی امتیاز داده شد. روش امتیازدهی اینگونه بود که با ضرب زیرمعیارهای مربوط به اهمیت وضعیت، اندازه کلی این معیار مشخص شد. برای معیار ارزش زمانی، زیرمعیارهای آن با هم جمع شدند. پس از به دست آوردن این معیارها (اهمیت وضعیت و ارزش زمانی) با ضرب این دو معیار با هم امتیاز زیست محیطی طرح محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی اقدامات آبخیزداری در آبخیز خانیک با استفاده از روش (RIAM) نشان داد که از دیدگاه دو شاخص اجتماعی و بوم شناختی اثرات و تغییرات اقدامات اجرا شده، مثبت ناچیز (+A) بود. از دیدگاه شاخص اقتصادی و فیزیکی نیز اثرات و تغییرات عملیات آبخیزداری به ترتیب مثبت کم (+B) و مثبت متوسط (+C) بود. به طور کلی بررسی اثرات ساخت سه بند خاکی در آبخیز خانیک نشان داد که اثرات اقدامات آبخیزداری مثبت اما کم (+B) بود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی روستای خانیک نشان داد که بیشترین وزن در میان معیارها، مربوط به معیار فیزیکی (افزایش آبدهی قنات، افزایش آبدهی چشمه ها، آبدهی چاه های کشاورزی، مهار سیلاب و رسوب گیری) ۰/۴۴۵، بود. این یافته بیانگر آن بود که اجرای اقدامات آبخیزداری سبب دستیابی به اهداف اصلی طرح یعنی مهار سیلاب و تغذیه قنات ها، شده است. همچنین، نتایج ارزیابی اقدامات آبخیزداری با استفاده از روش (RIAM)، نشان داد اثرات این اقدامات مثبت اما کم بود. از این رو، پیشنهاد می شود برای افزایش اثرگذاری این اقدامات به شکل ترکیبی با دیگر عملیات های زیستی و سازه ای آبخیزداری اجرا شود.

واژگان کلیدی

اثر بخشی، قنات، مهار سیلاب، AHP

مقدمه

این گونه سیاست ها و طرح ها را نیز بر معیشت پایدار گروه های گوناگون به ویژه روستاییان تعیین می کند (مکونن و همکاران ۲۰۲۱). از این رو، با ارزیابی عملکرد اقدامات منابع طبیعی و آبخیزداری از دیدگاه آبخیز نشینان و تعیین نوع و اندازه اثرات طرح، می توان رهنمودهای لازم برای اجرای بهینه این طرح ها در آینده به مسئولان و برنامه ریزان پیشنهاد کرد. بی تردید، شناخت کامل چنین پیامدهایی به دلیل درازمدت بودن و دشواری خاص برخی از آن ها کار آسانی نخواهد بود. به ویژه در شرایطی که داده های کمی کافی از طرح های اجرا شده در دست نیست، از این رو، لازم است این طرح ها با روش های کیفی ارزیابی شوند. به هر حال، موفقیت در ساخت، نگهداری و گسترش طرح ها و مدیریت بهتر آن ها، انجام پژوهش ها در راستای تعیین اثرات و پیامدهای ناشی از اجرای این طرح ها بر معیشت پایدار سودبران امری ضروری است (سای و همکاران ۲۰۲۱).

مدیریت منابع طبیعی و آبخیزداری یکی از راه کارهای فراگیر، کم هزینه و سازگار با محیط برای بهره برداری، نگهداری و اصلاح منابع است. از این رو، در پنج دهه گذشته تاکنون، جامعه های گوناگون توجه زیادی به اجرای اقدامات حفاظتی منابع طبیعی داشته اند (سان و همکاران ۲۰۱۶). تغییر رفتار آب شناختی آبخیزها با هدف کاهش رواناب، کاهش تبخیر و تعرق و افزایش نفوذ به منظور تداوم منابع آبی و کاهش تولید سیلاب آبخیز یکی از مهم ترین اهداف در مدیریت آبخیزها است که اجرای عملیات آبخیزداری چه در بخش زیستی و چه بخش سازه ای سبب تحقق آن می شود (مقیان و همکاران ۲۰۲۳). ارزیابی اثرات طرح های منابع طبیعی و آبخیزداری بر حفاظت و بهره برداری اصولی از جنگل ها و مراتع ابزار اجرایی مهمی برای مدیران و مجریان این گونه طرح ها به شمار می آید. زیرا، نه تنها پیشرفت طرح ها را اندازه گیری و تبیین می کند بلکه اثرات

در راستای ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری پژوهش‌هایی انجام شده است که جمع‌آوری اطلاعات از نتایج این پژوهش‌ها بیشتر به شکل پرسش‌نامه و از سوی بهره‌برداران بوده است؛ اما در این پژوهش، سعی شد از روش کیفی ارزیابی اثرات سریع^۱ (RIAM) برای ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری استفاده شود. زمانی که در فرایند ارزیابی، دسترسی به داده‌های معتبر وجود نداشته باشد و تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های ثانویه ناقص انجام شود، ارزیابی به‌سوی ذهن‌گرایی سوق می‌یابد. برای حل این مشکل می‌توان با استفاده از روش RIAM استفاده کرد. در این روش می‌توان با تعریف معیارها و مقیاس‌های استاندارد و با استفاده از یک ماتریس ساده، امکان ثبت دائمی رخدادها را در یک فرایند تصمیم‌گیری را فراهم کرد (پاستاکیا ۱۹۹۸). در پژوهشی گیلبوتنا و همکاران (۲۰۱۳) اثرات اقدامات کاهش سیل را ارزیابی کردند. آنها بر اساس شرایط منطقه تغییراتی در RIAM ایجاد کردند. نتایج این پژوهش نشان داد ایجاد دایک برای کاهش خسارت‌های سیل در مقایسه با کانال روباز از دیدگاه معیارهای بررسی‌شده در روش RIAM بسیار مناسب‌تر بود و اثرات منفی کمتر شد. خطیبی (۲۰۱۶) برای ارزیابی اقدامات آبخیزداری اجراشده از روش ماتریس ارزیابی اثرات سریع RIAM استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد اثرات و تغییرات اقدامات انجام‌شده در دوره قبل از خشک‌سالی و بدون تأثیر در زمان پس از خشک‌سالی، مثبت متوسط بود. در آبخیز حسن ابدال استان زنجان، حسنی و ملکی (۲۰۱۹) اثرات عملیات آبخیزداری بر آبخیزنشینان را از دیدگاه اقتصادی و اجتماعی بررسی و تحلیل کردند. آنها از آزمون کای اسکوتر در محیط SPSS و تحلیل اقتصادی نسبت سود به هزینه و ارزش خالص فعلی استفاده کردند. از مهم‌ترین نتایج این پژوهش می‌توان به کاهش تمایل مهاجرت، مهار سیل، افزایش حجم آب زیرزمینی، تبدیل دیم‌زارهای کم‌بازده به مرتع دست کاشت، افزایش محصولات زراعی و باغی و کاهش هزینه‌های آن اشاره کرد. در پژوهشی،

اختصاصی و همکاران (۲۰۲۱) طرح‌های آبخیزداری را با استفاده از مدل SWOT و AHP در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارزیابی کردند. آنها از ۴ معیار اصلی (کاهش فرسایش، کاهش سیل، افزایش پوشش گیاهی و افزایش آب‌دهی قنات‌ها) و ۸ معیار فرعی استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین اثر مربوط به معیار کاهش فرسایش با اهمیت نسبی ۰/۴۸ در طرح‌های آبخیزداری بود. در پژوهشی، عزیزپور و همکاران (۲۰۲۱) اثرات طرح‌های آبخیزداری از دیدگاه اجتماعی-اقتصادی و محیطی در روستاهای آبخیز بخش کردیان در شهرستان جهرم را بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد مهم‌ترین متغیرهای اثربخش اجرای این طرح، شامل متغیرهای ارتباط با کارشناسان و مروجان، سهم نمایندگان مردم در مدیریت آبخیز، اندازه مشارکت مردمی، افزایش مساحت باغ‌ها، کاهش خسارت سیل به راه‌های ارتباطی روستا، کاهش فرسایش و رسوب، حل مشکلات مربوط به کمبود آب در منطقه و قیمت زمین‌های باغی و زراعی بودند. در شهرستان منوجان سلطانی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۲) اثربخشی کنش‌های آبخیزداری را ارزیابی کردند. روش‌های کیفی استفاده‌شده شامل مصاحبه حضوری و تکمیل پرسشنامه بود. نتایج کیفی بیانگر آن بود که ۵۸/۸۰٪ از مردم منطقه باور دارند که اثر کنش‌های آبخیزداری مثبت است، و ۱۹/۴۲٪ آن را بی‌اثر مثبت می‌دانند. کریمی سنگ‌چین و الوندی (۲۰۲۳) اثرات اجتماعی - اقتصادی طرح‌های آبخیزداری اجراشده در پهنه آبخیز ریمله استان لرستان را بر اساس دیدگاه کارشناسان ارزیابی کردند. در این پژوهش، نتایج روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و مقایسه‌های زوجی نشان داد که در میان شش معیار ارزیابی‌شده، بیشترین وزن مربوط به معیار اقتصادی ارزش‌افزوده و کمترین وزن مربوط به معیار اجتماعی افزایش سطح دانش و آگاهی بود. نتایج پژوهش‌های پرشمار در راستای ارزیابی طرح‌های حفاظت منابع طبیعی و آبخیزداری در ایران و دیگر کشورها

۴- Analytic Hierarchy Process

1-Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM)

بیانگر آن است که در بیشتر این بررسی‌ها جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از پرسش‌نامه بوده است. از این‌رو، در این پژوهش سعی شد از روش متفاوتی برای ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری استفاده شود. بر این اساس، این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری انجام‌شده بر تغذیه قنات‌ها و جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی آبخیز خانیک گناباد در استان خراسان رضوی با استفاده از روش RIAM، اجرا شد تا اندازه‌ی اثرات این اقدامات بر معیشت پایدار سودبران در اجرای طرح‌های آبخیزداری سنجیده شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

در این پژوهش، روستانشینان آبخیز خانیک گناباد در استان خراسان رضوی با مشورت کارشناسان اداره کل منابع طبیعی این استان و بر اساس اقدامات آبخیزداری انجام‌شده در سال‌های گذشته به وسیله اداره نامبرده در این آبخیز، انتخاب شدند. بر پایه اظهارات کارشناسان اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی طرح‌های اجراشده در این آبخیز به منظور احیا و افزایش آب‌دهی قنات‌ها موجود در این آبخیز و جلوگیری و کاهش سیل اجراشده است. این طرح‌ها شامل سه بند خاکی در آبخیز خانیک گناباد است. افزون بر این، قنات در این آبخیز نقش اصلی در تأمین آب شرب و کشاورزی را

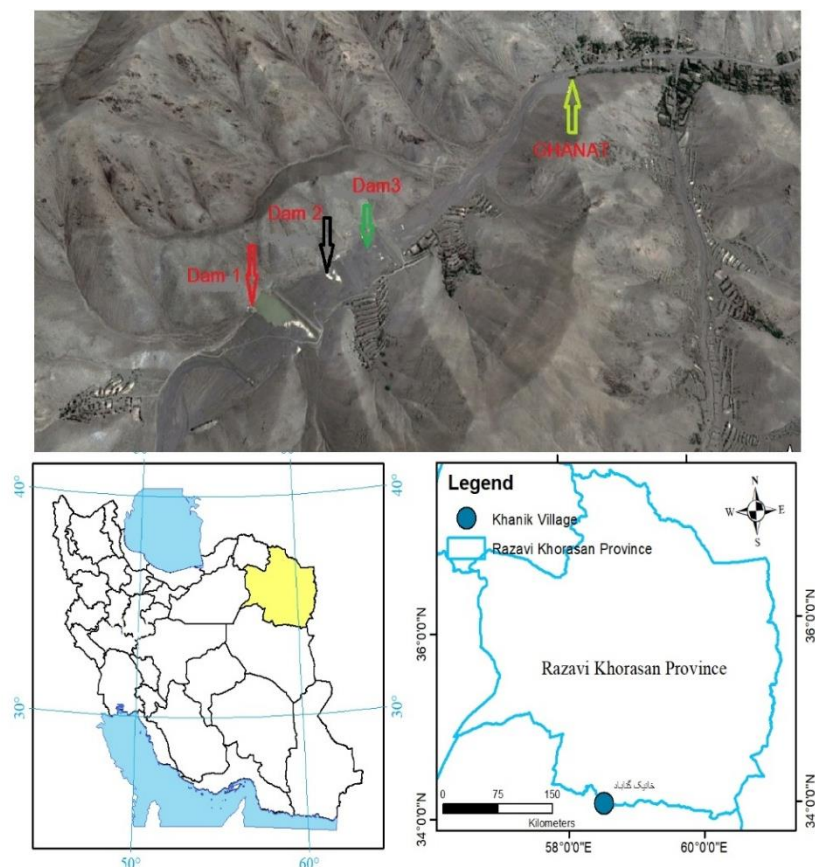
دارد که به دلیل خشکسالی‌های چند سال گذشته روی زندگی مردم روستاهای پایین دست قنات تأثیرگذار بوده است. این روستا از توابع بخش کاخک شهرستان گناباد در استان خراسان رضوی است و در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر گناباد است. تعداد خانوارهای این روستا متغیر و در زمستان حدود ۱۰۰ خانوار ولی در تابستان به دلایل تفریحی و آب و هوایی معتدل به بیش از ۵۰۰ خانوار افزایش می‌یابد. شغل اصلی اهالی این روستا کشاورزی و دامداری است و محصول اصلی این روستا سماق است، طوری که این روستا را مهد سماق ایران می‌نامند. جاذبه‌های گردشگری این روستا شامل مراتع، مناطق کوهستانی، باغ‌های سماق، قنات، چشمه‌ها است. بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی همدید گناباد، فردوس، قائن و ایستگاه اقلیم‌شناسی کاخک میانگین دمای کیمنه، میانگین و بیشینه آبخیز خانیک به ترتیب ۴، ۱۳ و ۲۹ درجه سانتیگراد است. میانگین بارش سالانه آبخیز ۲۲۴ میلی‌لیتر است. در مجموع این منطقه تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد دارد. بر اساس اقلیم‌نمایی دوارتن اقلیم این آبخیز نیمه خشک است (قیصری و همکاران ۲۰۲۲).

مشخصات بندهای اجرا شده در روستای خانیک در جدول ۱ و تصویرهای این اقدامات در شکل ۲ و موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهشی در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات اقدامات آبخیزداری اجراشده در روستای خانیک.

Table 1- Details of watershed management actions in the Khanik Watershed.

year of construction	Spent Credit (Rials)	Number of recharge per year	Reservoir Volume(m ³)	Excavation volume	Activity
2017	1656950000	2 - 3	31000	155500	Earth Dam (3)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز خانیک گناباد در استان خراسان رضوی.

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





شکل ۲- تصویرهای بند خاکی خانیک.

Figure 2- Pictures of the Khanik's earth dam.

روش پژوهش

ارزیابی اثربخشی اقدامات آبخیزداری انجام‌شده

به‌منظور ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری از روش ماتریس ارزیابی اثرات سریع و روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. زمانی که در فرایند ارزیابی، دسترسی به داده‌های معتبر وجود نداشته باشد و تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های ثانویه ناقص انجام شود، ارزیابی به‌سوی ذهن‌گرایی سوق می‌یابد. برای حل این مشکل می‌توان از روش RIAM استفاده کرد. در این روش می‌توان با تعریف معیارها و مقیاس‌های استاندارد و با استفاده از یک ماتریس ساده، امکان ثبت دائمی رخدادهای را در یک فرایند تصمیم‌گیری را فراهم کرد (پاستاکیا ۱۹۹۸). از روش RIAM به‌دلیل داشتن ساختاری ساده، توانایی زیاد در تحلیل جامع، دقت زیاد، انعطاف‌پذیری و توانایی در انجام یک ارزیابی عینی، می‌توان به‌عنوان یک روش قدرتمند برای انجام طرح‌های ارزیابی اقدامات آبخیزداری نیز استفاده کرد (خطیبی ۲۰۱۶). در ارزیابی اقدامات آبخیزداری در یک آبخیز نمی‌توان فقط اثرات اقدامات اجراشده را به‌عنوان اثرات اجتماعی و اقتصادی و یا فیزیکی‌شیمیایی و بوم‌شناختی طبقه‌بندی کرد. به‌دلیل اینکه ماهیت ابعاد چنین اثراتی، به‌هم‌پیوسته است. برای رسیدن به این منظور می‌توان از اختصاص وزن به شاخص‌های ارزیابی،

بر اساس اندازه اهمیت‌داده شده به‌وسیله افراد آگاه از آبخیز مطالعه‌شده استفاده کرد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی نیز یکی از این روش‌ها است. در این پژوهش، برای وزن‌دهی به معیارهای مد نظر از آن استفاده شد. پس از انتخاب معیارها و زیرمعیارها، وزن‌دهی شدند. هدف از وزن‌دهی معیار آن است که بتوان اهمیت هر معیار را در مقایسه با دیگر معیارها بیان کرد. در این فرایند عناصر هر سطح در مقایسه با دیگر عناصر سطوح بالاتر به‌شکل زوجی مقایسه و وزن‌دهی می‌شوند که وزن نسبی نامیده می‌شود و با تلفیق وزن‌های نسبی وزن نهایی مطلق محاسبه می‌شود. در این پژوهش از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد.

در روش RIAM شاخص‌های مهم ارزیابی به دو دسته تقسیم می‌شوند (مدنی و همکاران ۲۰۱۶):

۱- شاخص‌های که بر اساس شرایط حائز اهمیت هستند و فقط می‌تواند در نمره به‌دست‌آمده تغییراتی اعمال کند (A).

۲- شاخص‌هایی که بر اساس موقعیت ارزش‌گذاری می‌شوند و فقط نمی‌تواند در نمره به‌دست‌آمده تغییراتی اعمال کند (B).

در این پژوهش، رتبه‌دهی با یک عمل ضرب میان نمره‌های به‌دست‌آمده در هر کدام از شاخص‌های گروه A و با استفاده از رابطه ۱ انجام شد. این رتبه نشان‌دهنده اهمیت ویژه شاخص‌های این گروه است. نمره شاخص‌های ارزشی گروه B به شکل جمع ساده و با استفاده از رابطه ۲، جمع شدند. جمع نمره‌های گروه B در گروه A با استفاده از رابطه ۳ ضرب شد تا رتبه ارزیابی نهایی (ES) برای معیار مد نظر به‌دست آید (مدنی و همکاران ۲۰۱۶).

$$(A1) * (A2) = AT \quad (1)$$

$$(B1) + (B2) + (B3) = BT \quad (2)$$

$$(AT) * (BT) = ES \quad (3)$$

شاخص‌های استفاده‌شده و راهنمای طبقه‌بندی ارزیابی اثرات در روش RIAM در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۲- معیارهای استفاده‌شده در روش RIAM (مدنی و همکاران ۲۰۱۶).

Table 2- Evaluation criteria of groups A and B (Madani et al. 2016).

Explanations	Scale of measurement	criteria
The study area is of national and international importance	4	A1: The importance of status
The study area is of regional and national importance	3	
The study area is important for the marginal areas	2	
The study area is only relevant to local conditions	1	
The study area is irrelevant	0	
Very positive benefits and impacts	+3	A2: The magnitude of the effects
Significant positive benefits and impacts	+2	
Positive benefits and impacts	+1	
No changes	0	
Damage and negative impact	-1	
Significant damage and negative impact	-2	B1: Durability of effects
Very negative damage and impact	-3	
No change / no effect and impossible	1	
Temporary and short time	2	B2: Reversibility
Permanent and for 10-15 years	3	
No change / no impact and impossible	1	
Reversible dust a few weeks and months	2	B3: Cumulative and intensifying effects
Irreversible and permanent for many years	3	
No change / no impact and impossible	1	
Non-cumulative and single	2	
Accumulative and synergistic	3	

جدول ۳- راهنمای طبقه‌بندی ارزیابی اثرات در روش RIAM (مدنی و همکاران ۲۰۱۶).

Table 3- Transformation of environmental scores to the range of change (Madani et al. 2016).

The range of changes is descriptive	Qualitative change range (RV)	Qualitative change range (RB)	Environmental benefits range (ES)
Very positive effects	5	+E	72 - 108
Significant positive effects	4	+D	36 - 71
Moderate positive effects	3	+C	18 - 35
Positive effects	2	+B	10 - 18
Slightly positive effects	1	+A	1 - 9
No change	0	N	-1 to +1
Slightly negative effects	-1	-A	-1 to -9
Negative effects	-2	-B	-10 to -18
Moderate negative effects	-3	-C	-19 to -35
Significant negative effects	-4	-D	-36 to -71
Very negative effects	-5	-E	-72 to -108

سرانجام، به منظور اصلاح روش ماتریس ارزیابی اثرات سریع برای تمام زیرمعیارها، وزن های محاسبه شده از تحلیل سلسله مراتبی (W) در رتبه ارزیابی نهایی (ES) ضرب شد و امتیاز مربوط به هر زیر معیار (ES^*) اصلاح شد (رابطه ۴) و به دنبال آن امتیازات مربوط به جدول راهنمای روش RIAM جدول (۳) تغییر یافت.

$$ES^* = ES * W \quad (4)$$

از آنجایی که درصدی از وزن کل به هر زیرمعیار اختصاص یافت، مجموع وزن کلیه زیرمعیارها برابر یک شد. همچنین با توجه به اینکه در این پژوهش ۲۲ زیرمعیار برای ارزیابی استفاده شد، وزن میانگین و قابل انتظار برای هر زیرمعیار $0.45/0$ (یک تقسیم بر ۲۲) بود. با اعمال وزن میانگین زیرمعیارها، طبقه بندی ارزیابی اثرات در روش RIAM اصلاح شد (جدول ۴).

جدول ۴- راهنمای طبقه بندی ارزیابی اثرات اقدامات مدیریتی در روش RIAM اصلاح شده.

Table 4- Guidelines for the classification of impact assessment of management actions in the modified RIAM method.

The range of changes is descriptive	Qualitative change range (RV)	Qualitative change range (RB)	Environmental benefits range (ES)
Very positive effects	5	+E	-3.195 – 4.86
Significant positive effects	4	+D	-1.575 – 3.195
Moderate positive effects	3	+C	-0.81 – 1.575
Positive effects	2	+B	-0.405 – 0.81
Slightly positive effects	1	+A	0.045 – 0.405
No change	0	N	-0.045 to 0.045
Slightly negative effects	-1	-A	-0.045 to -0.405
Negative effects	-2	-B	-0.405 to -0.81
Moderate negative effects	-3	-C	-0.81 to 1.575
Significant negative effects	-4	-D	-1.575 to 3.195
Very negative effects	-5	-E	-3.195 to -4.86

نتایج و بحث

نتایج تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده

از تحلیل سلسله مراتبی روستای خانیک

بر پایه دیدگاه کارشناسان و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مقایسه های زوجی میان معیارها و زیرمعیارها انجام شد. وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها تعیین شد (جدول های ۵ و ۶). نتایج

ماتریس ارزیابی اثرات در آبخیز خانیک گناباد

در این پژوهش برای ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری اجرا شده در منطقه مطالعه شده از روش ماتریس ارزیابی اثرات سریع (ماتریس پاستاکیا) استفاده شد. پس از

تعیین رتبه ارزیابی نهایی (ES) هر زیرمعیار و اعمال وزن هر کدام، امتیاز نهایی ارزیابی زیست محیطی زیرمعیارهای گوناگون برای تعیین اثرات مثبت و منفی این اقدامات تعیین شد. بر اساس روش کار، اطلاعات و داده های خام اولیه از دیدگاه افراد گوناگون استخراج شد. سپس، از آنها برای نمره دهی و تعیین وضعیت شاخص های گوناگون که در چهار دسته اقتصادی، اجتماعی، فیزیکی و بوم شناختی طبقه بندی شده بودند، استفاده شد و در قالب پنج عامل اصلی ($A1, A2, B1, B2, B3$) در روش RIAM به کار گرفته شد. نتایج در جدول ۷، ارائه شده است.

جدول ۵- وزن و رتبه‌بندی معیارها در روستای خانیک.

Table 5- Weight and ranking of criteria in the Khanik Village.

Criteria	Final weight	Ranking
Economic	0.258	2
Social	0.190	3
Physical	0.445	1
Ecological	0.108	4

جدول ۶- وزن و رتبه‌بندی زیر معیارها در روستای خانیک.

Table 5- Weight and ranking of sub-criteria in the Khanik Village.

Criteria	Sub-criteria	Ranking	Final weight
Economic	Tourism potential	3	0.074
	Increasing the area of garden and agricultural lands	4	0.065
	Increase in the price of garden and agricultural land	7	0.058
	Increasing garden and agricultural production	5	0.065
	Creating employment	12	0.032
	Increasing the number and production of livestock	13	0.032
Social	Participation in the maintenance and implementation of the project	7	0.054
	The return of immigrants from the city to the village	15	0.027
	Reducing the migration of villagers to other areas	17	0.023
	Social differences and conflicts	11	0.033
Physical	Irrigation of agricultural wells	6	0.064
	Increasing the water flow of the aqueduct	1	0.128
	Increasing the flow of springs	8	0.054
	Mud control	10	0.035
	flood control	2	0.09
	Correcting the slope of the waterway	16	0.027
	Sedimentation	9	0.042
Ecological	Effect on fodder production	19	0.018
	Impact on green space	18	0.021
	Impact on landscapes and landscapes	14	0.031
	Create a suitable cultivation bed	20	0.016
	Influence on the way of irrigation	21	0.01

جدول ۷- نتایج ارزیابی اثرات سریع اقدامات آبخیزداری روستای خانیک با استفاده از روش RIAM.

Table 7- The results of rapid evaluation of the effects of watershed measures in the Khanik Village using the RIAM method.

Criteria	Sub-criteria	Environmental benefits range (ES)		Final and normalized weights of sub-criteria	Modified evaluation score for each sub-criterion (ES*)		Modified Evaluation Score for each criterion (ES*)	
		score	Qualitative change range (RB)		Corrected score	Qualitative change range (RB)	Score	Qualitative change range (RB)
Economic	Tourism potential	14	+B	0.074	1.036	+C	0.42	+B
	Increasing the area of garden and agricultural lands	12	+B	0.065	0.78	+B		
	Increase in the price of garden and agricultural land	0	N	0.058	0	N		
	Increasing garden and agricultural production	6	+A	0.065	0.39	+A		
	Creating employment	7	+A	0.032	0.224	+A		
	Increasing the number and production of livestock	4	+A	0.032	0.128	+A		
Social	Participation in the maintenance and implementation of the project	12	+B	0.054	0.648	+B	0.3	+A
	The return of immigrants from the city to the village	7	+A	0.027	0.189	+A		
	Reducing the migration of villagers to other areas	7	+A	0.023	0.161	+A		
	Social differences and conflicts	7	+A	0.033	0.231	+A		
Physical	Irrigation of agricultural wells	6	+A	0.064	0.384	+A	0.9	+C
	Increasing the water flow of the aqueduct	16	+B	0.128	0.48/2	+D		
	Increasing the flow of springs	16	+B	0.054	0.864	+C		
	Mud control	4	+A	0.035	0.14	+A		
	flood control	28	+C	0.09	2.52	+D		
	Correcting the slope of the waterway	4	+A	0.027	0.108	+A		
	Sedimentation	7	+A	0.042	0.294	+A		
Ecological	Effect on fodder production	7	+A	0.018	0.126	+A	0.14	+A
	Impact on green space	8	+A	0.021	0.168	+A		
	Impact on landscapes and landscapes	14	+B	0.031	0.434	+B		
	Create a suitable cultivation bed	0	N	0.016	0	N		
	Influence on the way of irrigation	0	N	0.01	0	N		
Overall evaluation of the project		8.45	+A	-	0.49	+B	-	-

نتایج ماتریس ارزیابی اثرات معیارها

نتایج بررسی اثرات اقدامات اجرا شده در آبخیز خانیک نشان داد که از میان ۴ شاخص مطالعه شده، اثرات و تغییرات این طرح‌ها از دیدگاه دو شاخص اجتماعی و بوم‌شناختی مثبت ناچیز (+A) بود. از دیدگاه شاخص اقتصادی و شاخص فیزیکی به ترتیب اثرات و تغییرات مثبت کم (+B) و مثبت متوسط (+C) بود.

نتایج ماتریس ارزیابی اثرات زیرمعیارها

در این پژوهش، اثرات اقدامات آبخیزداری در آبخیز خانیک میان ۲۲ زیرشاخص بررسی شد و نتایج نشان داد که اثرات این اقدامات از دیدگاه سه زیرشاخص (افزایش قیمت زمین‌های باغی و زراعی، ایجاد بستر

مناسب کشت و تأثیر بر شیوه آبیاری) خنثی یا بی‌اثر (N) بود. همچنین، اثرات این اقدامات از دیدگاه ۱۲ زیرشاخص (افزایش تولیدات باغی و زراعی، ایجاد اشتغال، افزایش تعداد و تولیدات دامی، بازگشت مهاجران از شهر به روستا، کاهش مهاجرت روستائیان به دیگر مناطق، اختلاف و درگیری‌های اجتماعی، آب‌دهی چاه‌های کشاورزی، مهار گل‌آلودگی، اصلاح شیب آبراهه، رسوب‌گیری، تأثیر بر تولید علوفه و تأثیر بر فضای سبز) مثبت اما ناچیز (+A) بود. افزون بر این، اثرات این اقدامات از دیدگاه سه زیرشاخص (افزایش مساحت زمین‌های باغی و زراعی، مشارکت در نگهداری و اجرای طرح و تأثیر بر مناظر و چشم‌انداز) مثبت اما

کم (+B) بود. همچنین، اثرات این اقدامات از دیدگاه دو زیرشاخص (توان گردشگری و افزایش آبدهی چشمه ها) مثبت متوسط (+C) بود و از دیدگاه دو زیرشاخص (افزایش آبدهی قنات، مهار سیلاب) مثبت و افزایشنده (+D) بود. به طور کلی نتایج بررسی اثرات ساخت سه بند خاکی در آبخیز خانیک نشان داد که اثرات این اقدامات اجرا شده مثبت اما کم (+B) بود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

با ارزیابی عملیات آبخیزداری اجرا شده در آبخیزها و ارائه دورنمایی از نتایج عملکرد آنها، می توان اطلاعات مناسبی برای برنامه ریزی بلندمدت در اختیار مدیران و تصمیم گیران قرار داد (لیثو و همکاران ۲۰۲۰). از این رو، لازم است اثرات اجرای طرح های آبخیزداری بررسی شود تا مشخص شود اعتبارات گرفته شده برای طرح های حفاظتی منابع طبیعی در آینده به چه گونه ای باید هزینه شود تا اجرای این طرح ها در آبخیزها بر معیشت پایدار سودبران بیشترین بازدهی را به همراه داشته باشد (دادرسی سبزوار ۲۰۱۶).

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی در آبخیز خانیک گناباد برای دستیابی به مدیریت جامع آبخیز و بهبود مشارکت مردمی، مجموعه ای از عملیات مدیریتی و حفاظتی منابع طبیعی تهیه کرده است. در این پژوهش، برای شناخت و ارزیابی اندازه اثربخشی اقدامات آبخیزداری اجرا شده به وسیله اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی از کارشناسان، روستائینان آبخیز خانیک گناباد در استان خراسان رضوی که با مشورت کارشناسان اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی، انتخاب شده بودند، استفاده شد. از این رو، برای ارزیابی اقدامات اجرا شده از دیدگاه کارشناسان از روش ماتریس ارزیابی اثرات سریع و روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. در روش RIAM با تعریف معیارها و مقیاس های استاندارد می توان با استفاده از یک ماتریس ساده، امکان ثبت دائمی رخدادهای را در یک فرایند تصمیم گیری فراهم کرد. نتایج تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی روستای خانیک نشان داد که بیشترین وزن مربوط به معیار فیزیکی (۰/۴۴۵)

بود. این معیار نشان دهنده اثرات فیزیکی (مهار سیلاب و آبدهی قنات ها و چشمه ها و ...) اقدامات آبخیزداری اجرا شده از دیدگاه کارشناسان در آبخیز خانیک گناباد بود. همچنین، نرخ ناسازگاری در این پژوهش ۰/۰۶ به دست آمد. از آنجایی که نرخ ناسازگاری به دست آمده کمتر از ۰/۱ بود، سازگاری ماتریس مقایسه ها تأیید و قابل قبول بودند. بر اساس وزن معیارها و زیرمعیارهای تعیین شده با روش تحلیل سلسله مراتبی، وزن تعدادی از زیرمعیارها به دلیل اهمیت بیشتر، از اندازه مورد انتظار (۰/۴۵) بیشتر بود. این معیارها در آبخیز خانیک بر اساس وزن های به دست آمده، به ترتیب شامل: افزایش آبدهی قنات، مهار سیلاب، توان گردشگری، افزایش مساحت زمین های باغی و زراعی، افزایش تولیدات باغی و زراعی، آبدهی چاه های کشاورزی، مشارکت در نگهداری و اجرای طرح و افزایش آبدهی چشمه ها بودند. از سوی دیگر، وزن تعدادی از زیرمعیارها به دلیل اهمیت کمتر، از اندازه مورد انتظار کمتر بود. این زیرمعیار در آبخیز خانیک شامل: تأثیر بر شیوه آبیاری، ایجاد بستر مناسب کشت، تأثیر بر فضای سبز، تأثیر بر تولید علوفه، اصلاح شیب آبراهه، کاهش مهاجرت روستائیان به دیگر مناطق و ... بودند. در میان زیرمعیارهای بررسی شده، بیشترین وزن در میان همه زیرمعیار، مربوط به زیرمعیار افزایش آبدهی قنات (۱۲/۸٪) بود. این یافته بیانگر آن بود که هدف اصلی اجرای این طرح ها از دیدگاه متخصصان تغذیه قنات ها است. دومین رتبه وزن در میان زیرمعیارها مربوط به زیرمعیار مهار سیلاب بود که نشان دهنده اثر این طرح ها در مهار سیل در منطقه مطالعه شده است. به طور کلی، زیرمعیارهای شاخص فیزیکی در مقایسه با زیرمعیارهای دیگر شاخص ها وزن بیشتری کسب کردند. این یافته بیانگر آن بود که اقدامات اجرا شده سبب افزایش آبدهی قنات ها و کاهش سیل و ذخیره سیلاب شده است.

در این پژوهش، نتایج ارزیابی اثرات اقدامات اجرا شده با استفاده از ماتریس ارزیابی اثرات سریع در آبخیز خانیک نشان داد که اثرات و تغییرات این طرح ها از دیدگاه دو شاخص اجتماعی و بوم شناختی در میان ۴ شاخص

ساخت سه بند خاکی در آبخیز خانیک نشان داد که اثرات این اقدامات اجرا شده مثبت اما کم (+B) بود. زمانی که در فرایند ارزیابی، امکان دسترسی به داده‌های معتبر وجود نداشته باشد و تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های ثانویه ناقص انجام شود، ارزیابی به سوی ذهن‌گرایی سوق می‌یابد. در این شرایط ارزیابی به شکل کیفی انجام می‌شود. همچنین، احتمال اعمال دیدگاه‌های شخصی و دور از واقعیت نیز وجود خواهد داشت. از این رو، پیشنهاد می‌شود در اینگونه شرایط ارزیابی کمی نیز انجام شود که نیازمند داده‌برداری کمی بلندمدت است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منفعی در زمینه 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: جمع آوری اطلاعات، انجام تحلیل‌های آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله
نویسنده دوم: بازبینی مقاله، تحلیل نتایج
نویسنده سوم: مشاوره، تحلیل‌های آماری

بررسی شده، مثبت ناچیز (+A) بود. اثرات و تغییرات این طرح‌ها از دیدگاه شاخص اقتصادی و شاخص فیزیکی به ترتیب مثبت کم (+B) و مثبت متوسط (+C) بودند. در این پژوهش، اثرات اقدامات اجرا شده در آبخیز خانیک میان ۲۲ زیرشاخص بررسی شد و نتایج نشان داد که اثرات این اقدامات از دیدگاه سه زیرشاخص (افزایش قیمت زمین‌های باغی و زراعی، ایجاد بستر مناسب کشت و تأثیر بر شیوه آبیاری) خنثی یا بی اثر (N) بود. همچنین، اثرات این اقدامات از دیدگاه ۱۲ زیرشاخص (افزایش تولیدات باغی و زراعی، ایجاد اشتغال، افزایش تعداد و تولیدات دامی، بازگشت مهاجران از شهر به روستا، کاهش مهاجرت روستائیان به دیگر مناطق، اختلاف و درگیری‌های اجتماعی، آب‌دهی چاه‌های کشاورزی، مهار گل‌آلودگی، اصلاح شیب آبراهه، رسوب‌گیری، تأثیر بر تولید علوفه و تأثیر بر فضای سبز) مثبت اما ناچیز (+A) بود. افزون بر این، اثرات این اقدامات از دیدگاه سه زیرشاخص (افزایش مساحت زمین‌های باغی و زراعی، مشارکت در نگهداری و اجرای طرح و تأثیر بر مناظر و چشم‌انداز) مثبت اما کم (+B) بود. همچنین، اثرات این اقدامات از دیدگاه دو زیرشاخص (توان گردشگری و افزایش آب‌دهی چشمه‌ها) مثبت متوسط (+C) بود و از دیدگاه دو زیرشاخص (افزایش آب‌دهی قنات، مهار سیلاب) مثبت و افزایش (+D) بود. به‌طور کلی نتایج بررسی اثرات

فهرست منابع

Azizpoor F, Haghi Y, Bayat M, Karaminasab S. 2021. Evaluation of the effects of watershed projects on the socioeconomic and system of rural areas (Case study: Kordian Section-Jahrom City). Journal of Geographical Research on Desert Areas. 9(1): 19-44. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1400.9.1.2.4>
Dadrasi Sabzevar A, Ghazanchian A, Namaki M. 2016. The factors analysis of information, related to socio-economic effects of watershed management activities, according to the villager's point of view of

Gosh Watershed of Mashhad. Journal of Watershed Engineering and Management. 8(3): 290-302. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106812>
Ekhtesasi M, Chezgi J, Khajavi M. 2021. Evaluation of watershed management projects and offering appropriate strategy and solution for their development using SWOT and AHP model in arid and semi-arid regions. Journal of Watershed Engineering and Management. 13(1): 55-64. (In Persian).

<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.127843.1721>.

Gheisari Y, Heshmati Gh, Niknahad Ghermaker H. 2022. Investigation of some ecological factors affecting habitat distribution Sumac (*Rhus Coriaria* L.) in rangeland ecosystems (Case study: Kalat Rangelands of Gonabad). Journal of Plant Ecosystem Conservation. 10(1): 225-252. (In Persian). <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-830-en.html>.

Gilbuena JR, Kawamura A, Medina R, Amaguchi H, Nakagawa N, Du Bui D. 2013. Environmental impact assessment of structural flood mitigation measures by a rapid impact assessment matrix (RIAM) technique: A case study in Metro Manila, Philippines. Science of the Total Environment. 456-457. 137-147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.063>.

Hasani H, Maleki M. 2019. Socio-economic impact assessment of watershed plans implemented from the perspective of stakeholders (Case study: Hasan Abdal Basin- Zanzan Province). Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. 13(45): 54-62. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1398.13.45.10.4>

Karimi Sangchini, Ehsan Alvandi E. 2023. Socio-economic Effects of Implemented Projects of Watershed Management from the Expert's Perspective in Rimeleh Watershed, Lorestan Province, Watershed Management Research. 36(138): 34-49. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/wmrj.2022.358255.1464>

Khatibi A. 2016. Evaluation of watershed measures and resilience of villagers against drought. Master's thesis in watershed management field, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian). pp. 1-142.

Madani S, Moghadami Sh, Abedinzadeh N, Malmasi S. 2016. Application of Analytical Hierarchy Process to Compare Simple and Modified RIAM methods, (Case study: Environmental Impact Assessment of Tiam Steel Plants). Journal of Environmental Sciences and Technology. 18(1): 45-59. (In Persian). <https://www.magiran.com/p1596584>.

Maddi E, Maleki M. 2018. Evaluating the socio-economic effects of implemented natural resources projects from the point of view of the beneficiaries (case study: Andabil Watershed-Khalkhal City). Marta Magazine. 12(3): 279-267. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20080891.1397.12.3.2.0>

Mekonnen M, Abeje T, Addisu S. 2021. Integrated watershed management on soil quality, crop productivity and climate change adaptation, dry highland of Northeast Ethiopia. Agricultural Systems. 186: 102964. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102964>

Motaghian M, Alavinia H, Ghazavi R. 2023. Evaluation of the performance of mechanical and biomechanical measures of watershed management on changes in floods, erosion, sedimentation and vegetation in arid and semi-arid areas. (Case study: Badkash Watershed in Minab City). Arid Regions Geographic Studies. 14(53): 67-84. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.397286.1029>.

Pastakia CMJA. 1998. The rapid impact assessment matrix (RIAM) for EIA. Journal of Environmental Impact Assessment Review. 18(5): 461-82.

Saby L, Nelson JD, Band LE, Goodall JL. 2021. Nonpoint source water quality trading outcomes: Landscape-scale patterns and integration with watershed management priorities. Journal of Environmental Management. 294:112914. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112914>

Soltaninezhad M, Mehrabi A, Ahmadi H. 2022. Economic and effectiveness evaluation of watershed management measures by quantitative and qualitative methods in Manojan Kerman. Watershed Management Research. 35(135): 60-70. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2022.354192.1402>

Sun Y, Tong S, Yang YJ. 2016. Modeling the cost-effectiveness of stormwater best management practices in an urban watershed in Las Vegas Valley. Applied Geography. 76:49-61. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.005>



Assessing Watershed Management Measures Using the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) in the Khanik-Gonabad Watershed

Ali Dastranj^{1*}, Hamzeh Noor², Amin Salehpour Jam³

- 1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad. Iran
2- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad. Iran
3- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, agricultural and natural resources Research and Education, AREEO, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Today, due to the importance of watershed management projects and their numerous consequences, the results of implementing these projects in various regions cannot be ignored in terms of their impact on residents' livelihoods and needs. Evaluating the outcomes and effects of watershed management measures is essential to achieving beneficial results and increasing efficiency. Therefore, this study was conducted with the aim of identifying and assessing the effectiveness of watershed management measures implemented by the General Department of Natural Resources of Razavi Khorasan Province, from the perspective of experts in the Khanik-Gonabad watershed in Razavi Khorasan Province.

Materials and Methods

In this research, the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) method and the Analytical Hierarchy Process (AHP) method were used to evaluate the effects of watershed management measures. Therefore, in the field phase, comprehensive data were collected from the Department of Natural Resources and Watershed Management of Razavi Khorasan Province (including: type, number, year of construction, and dimensions of the implemented watershed management structures in the Khanik Gonabad watershed). Then, the effects of watershed management measures were evaluated using the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) method. In this research, key influencing factors were classified into four categories: economic, social, physical, and ecological. Each factor was scored based on the importance of conditions and temporal context. The scoring method was designed such that the overall magnitude of each criterion was determined by multiplying its relevant sub-criteria. For the temporal value criterion, its sub-criteria were summed. After obtaining these criteria, the environmental impact score of the project was calculated by multiplying these two criteria together.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author's E-mail: dastranj66@gmail.com

Citation: Dastranj, A., Noor, H., Salehpour Jam, A. 2025 Assessing Watershed Management Measures Using the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) in the Khanik-Gonabad Watershed. *Watershed Management Research*. 38(3): 1-15.

DOI:10.22092/WMRJ.2025.367745.1603

Received: 25 November 2024, **Received in revised form:** 01 January 2025, **Accepted:** 18 March 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.3, Ser. No:148, Autumn 2025, pp. 1-15.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Results and Discussion

The results of the study of watershed management measures in the Khanik watershed using the (RIAM) method showed that from the perspective of two social and ecological indicators, the effects and changes of the implemented measures were insignificantly positive (+A). From the perspective of the economic and physical indicators, the effects and changes of watershed management operations were small positive (+B) and medium positive (+C), respectively. In general, the study of the effects of the construction of three earthen dams in the Khanik watershed showed that the effects of watershed management measures were positive but small (+B).

Conclusion and Suggestions

The results of determining the weight of the criteria and sub-criteria using the hierarchical analysis of Khanik village showed that the highest weight among the criteria was related to the physical criterion (increasing the water yield of the aqueduct, increasing the water yield of springs, watering agricultural wells, controlling floods and sedimentation) of 0.445. This finding indicated that the implementation of watershed management measures has achieved the main objectives of the plan, namely controlling floods and feeding the aqueducts. Also, the results of the evaluation of watershed management measures using the (RIAM) method showed that the effects of these measures were positive but low. Therefore, it is suggested that these measures be implemented in combination with other biological and structural watershed management operations to increase their effectiveness.

Keywords: AHP, effectiveness, food control, qanat

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

First Author: Writing - original draft preparation

Second Author: Resources, Software, Manuscript editing

Third Author: Formal analysis and investigation



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

پژوهش‌های آب‌نخرداری

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

پایداری سازه‌های حفاظتی بندر گناوه در برابر امواج شمالی خلیج فارس

- محمدرضا غریب‌رضا*^۱، مهدی نیکوکار^۲، گیتا برادران ابراهیمی^۳، ارسلان پناهی^۴، احسان صفا^۵
- ۱- دانشیار گروه مهندسی رودخانه و حفاظت سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۲- دانشجوی دکتری و رئیس اداره کل مهندسی سواحل و بنادر، سازمان بنادر و دریانوردی ایران
- ۳- دانشجوی دکتری و معاون اداره کل مهندسی سواحل و بنادر، سازمان بنادر و دریانوردی ایران
- ۴- دکتری تخصصی اداره کل مهندسی سواحل و بنادر، سازمان بنادر و دریانوردی ایران
- ۵- دکتری تخصصی عمران، سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، دانشگاه تبریز، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

مناطق ساحلی در پایاب آبخیزهای ساحلی به دلیل جایگاه استقرار بخش قابل توجهی از آبخیزنشینان، محل برقراری زنجیره خدمات و تولید میان بخش داخلی کشور و خارج و فعالیت‌های دریامحور، پراهمیت هستند. از سوی دیگر، نوار ساحلی به دلیل سنگ‌شناسی ذاتی واحدهای سنگی و شکل‌های زمین ساحلی و شرایط آب‌پویایی امواج، تحت تأثیر فرسایش و دگرشکلی هستند. از این رو، فعالیت‌های دریامحور در پناه سازه‌های حفاظتی به‌ویژه موج‌شکن‌ها انجام می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی پایداری سازه حفاظت ساحل‌های توده‌سنگی در شرایط برخورد امواج شمالی خلیج فارس بود.

مواد و روش‌ها

در تقسیم‌بندی سازه حفاظتی، دو جنبه ویژگی‌های سازه‌ای و مصالح متشکله آنها، آرایش و موقعیت قرارگیری موج‌شکن‌ها مد نظر است. برای دستیابی به هدف این پژوهش، پایداری نیم‌رخ از بدنه سازه حفاظتی بندر گناوه با بیشترین سطح برخورد امواج شکن نزدیک به رأس موج‌شکن با یک الگوی امواج مشخص با استفاده از روش مدل‌سازی در آزمایشگاه شبیه‌ساز امواج پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، آزموده شد. بندر گناوه در شمال خلیج فارس از دیدگاه تجاری و صیادی اهمیت زیادی دارد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: gharibreza4@yahoo.com

استناد: غریب‌رضا، م.ر.، نیکوکار، م.، پناهی، ا.، صفا، ا.، برادران ابراهیمی، گ. ۱۴۰۴. پایداری سازه‌های حفاظتی بندر گناوه در برابر امواج شمالی خلیج فارس. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۳): ۳۹-۱۶.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.367798.1604

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۶ تا ۳۹.

© نویسنندگان

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



وجود چالش‌هایی مانند تداخل شدید امواج، فرسایش ساحلی و عملکرد نامطلوب موج‌شکن‌ها در برابر امواج غالب منطقه، بررسی دقیق‌تر پایداری سازه‌های حفاظتی این منطقه، ضروری است. موج‌شکن‌های این بندر نقش حیاتی در پایداری و ایمنی حوضچه بندر دارند؛ از این رو، تحلیل رفتار آن‌ها در شرایط متفاوت آب‌پویایی با مدل‌سازی در فلوم موج‌ساز می‌تواند دستاوردهای ارزشمندی در راستای بهینه‌سازی طراحی و عملکرد این سازه‌ها ارائه دهد. در این پژوهش، ابعاد لایه آرمور سازه حفاظتی (موج‌شکن) بندر گناوه تعیین شد. وزن قطعه‌های سنگی، یکی از سنجه‌های تأثیرگذار در انتخاب مناسب‌ترین گزینه برای آرمور بود. سنجه‌های مهم در طراحی سازه حفاظتی و موج‌شکن توده‌سنگی به سه دسته سنجه‌های محیطی (مربوط به موج)، سنجه‌های آبی (هیدرولیکی) و سنجه‌های سازه‌ای تقسیم شدند. آسیب واردشده به لایه آرمور (ha) با شمارش تعداد قطعه‌های جابه‌جاشده بلوک‌های آرمور یا با اندازه‌گیری سطح فرسایش‌یافته لایه آرمور در نیم‌رخ عرضی برآورد شد. روش محاسبه شاخص بر پایه شرایط بدون جابه‌جایی قطعه‌های آرمور که به شکل تکی تکان خورده بودند و یا قطعه‌های آرمور که به شکل تکی از مکان اولیه خود و به اندازه کم و مشخصی جابه‌جاشده بودند، بود. ترازهای حدی بالاروی (Ru) و پایین‌روی (Rd) آب روی نیم‌رخ سازه در هر برخورد موج به وجود می‌آید. این ترازها نسبت به سطح ایستایی تعریف‌شده است و از جمله سنجه‌های مهم طراحی هستند. مدل‌سازی با استفاده از یک فلوم مولد امواج دوبعدی به طول ۳۳ متر و عرض ۵/۵ متر و ظرفیت آبیگری تا ژرفای ۱/۵ متر انجام شد. ابعاد سازه‌ای با مقیاس ۱:۲۰ ریزمقیاس‌سازی شد. شرایط آب‌پویایی (هیدرودینامیکی) سنجش پایداری نیم‌رخ انتخاب‌شده شامل طیف امواج نامنظم JONSWAP با دوره بازگشت ۵۰ ساله، بلندی مؤثر امواج (Hs) ۲/۷ متر و دامنه ۶ ثانیه بود. این مشخصات با ضریب ۱/۲ نیز برای لحاظ کردن شرایط بسیار بحرانی نیز استفاده شد. این امواج به مدت ۱۰۰ الی ۱۱۰ دقیقه معادل ۱۵۰۰ عدد موج شکن و در چهار شرایط آب‌بالا (مد دریا همراه با خیزاب باد و موج)، جزر، دوره بازگشت یک‌ساله و ۱/۲ برابر آب‌بالا بر نیم‌رخ انتخاب‌شده (P6) تابیده شد. تغییرات به‌دست آمده از برخورد امواج شکن با عکس‌برداری قبل و بعد از نیم‌رخ و با استفاده از روش تصویرسنجی بررسی شد.

نتایج و بحث

نتایج مدل فیزیکی بررسی پایداری سازه حفاظت ساحلی طراحی‌شده برای شرایط امواج شمالی خلیج فارس نشان داد که طراحی بلندی و شیب برای ساخت سازه بندر گناوه قابل قبول بود. به بیان دیگر، طرح ارائه‌شده برای اجرای سازه حفاظتی در منطقه گناوه از دو دیدگاه عملکردی و ساختاری قابل اطمینان بود. از سوی دیگر، در این طراحی، لایه آرمور سازه حفاظتی در شرایط بسیار بحرانی دچار تغییر در نیم‌رخ شیب و نشست جزئی در لایه فیلتر شد. در آزمایش‌های مربوط به شرایط آب بالا، به‌طور میانگین ۸۸٪ از اندازه بالاروی مشاهده‌شده در تراز طراحی تاج سازه یا کمتر از آن بود. جابجایی قطعه‌های لایه آرمور نیز فقط در شرایط معادل ۲/۱ برابر آب‌بالا و به شکل بسیار محدود مشاهده شد. همچنین، پس از تابش ۱۳۰۰ موج، نشست لایه فیلتر به تدریج رخ داد. این شرایط با دوره بازگشت امواج ۱۰۰ ساله تطابق داشت. از این رو، نیاز بود تا سازه با بلندی بیشتر و ابعاد سنگ‌های وزین‌تر بازطراحی شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، با استفاده از مدل فیزیکی سازه حفاظتی بندر گناوه اندرکنش شرایط متفاوت امواج بر بدنه و به‌ویژه لایه آرمور توده‌سنگی به‌طور موفقیت‌آمیزی سنجیده شد و شرایط پایدار برای اجرا و کاهش هزینه‌های نهاد مجری (سازمان بندر و دریانوردی) پیش‌بینی شد. از این رو، در شرایطی که امواج شکننده بسیار بحرانی و همزمان با بیشترین سطح جزر و مد نجومی باشند، سازه محافظ بندر گناوه می‌شکند. بنابراین پیشنهاد می‌شود نهاد مجری از تردد کاربران در امتداد موج‌شکن جلوگیری کند و دیگر راهکارهای حفاظتی را نیز در نظر بگیرد. افزون بر این، پیشنهاد می‌شود از روش به‌کار گرفته شده در این پژوهش، برای بهینه‌سازی و توسعه سازه‌های حفاظتی در دیگر مناطق ساحلی مشابه در شمال خلیج فارس استفاده شود.

واژگان کلیدی: پایداری سازه، سازه حفاظت ساحلی، شمال خلیج فارس، گناوه، موج‌شکن توده‌سنگی

مقدمه

موج‌شکن‌های توده‌سنگی یکی از پرکاربردترین سازه‌های حفاظتی ساحل‌ها در جنوب کشور هستند. موج‌شکن توده‌سنگی سازه‌ای است که بیشتر از قطعه‌های سنگی ریخته‌شده یا قرار داده‌شده روی بستر دریا تشکیل می‌شود. لایه خارجی این سازه با استفاده از قطعه‌های سنگی که وزن بیشتری در مقایسه با دیگر لایه‌ها و یا قطعه‌های بتنی دارند، ساخته می‌شود. با توجه به مخارج ساخت این سازه‌ها، طراحی صحیح و پیش‌بینی خرابی‌های به‌وجودآمده، از دو جنبه کارایی و وضعیت اقتصادی کاملاً ضروری و مهم است. سنجه‌های آبی مربوط به چگونگی فعالیت موج روی سازه (واکنش‌های آبی) است. واکنش آبی اصلی شامل بالاروی و پائین‌آمدگی موج، انعکاس، سرریزی و انتقال موج هستند. سنجه‌های زمین‌فناوری (ژئوتکنیکی) مربوط به روانگرایی، شیب‌های پویایی و فشارهای اضافی حفره‌ها است. سازه با برخی از سنجه‌های سازه‌ای مهم از جمله: شیب سازه، وزن و جرم حجمی سنگ‌ها، شکل سنگ، همواری و صافی سطح، چسبندگی، تخلخل، نفوذپذیری، مدول‌های برشی و حجمی، ابعاد و مقطع عرضی سازه تشریح می‌شود. اندازه فشارهای وارد بر سازه یا اجزای سازه بستگی به سنجه‌های محیطی، آبی، زمین‌فناوری و سازه‌ای دارد. این فشارها، به فشارهای حرکت خارجی آب روی شیب، فشارهای تولیدشده در اثر حرکت داخلی آب در درون سازه و زلزله تقسیم می‌شود. عامل‌هایی که روی حرکت خارجی و داخلی آب تأثیرگذارند شامل تغییر شکل موج (شکست یا شکسته نشدن آن)، بالاروی یا پائین‌آمدگی موج، انتقال، سرریزی و انعکاس موج هستند. (بروس و همکاران ۲۰۰۹). حرکت داخلی آب، استهلاک یا نفوذ آب به درون سازه، تغییرات فشار حفره‌ای و سطح ایستایی را تشریح می‌کند. بیشتر سنجه‌های سازه‌ای روی فشارهای وارده تأثیرگذارند. زبری شیب تحت تأثیر اندازه، شکل و دانه‌بندی سنگ‌های آرمور است. از این‌رو، روی بالاروی و پائین‌آمدگی موج اثرگذار است. اندازه فیلتر و دانه‌بندی آن به همراه خصوصیات

سنگ‌های لایه محافظ آرمور، روی نفوذپذیری و حرکت داخلی آب تأثیرگذار است (چگینی ۲۰۰۸). در تقسیم‌بندی سازه حفاظتی دو جنبه ویژگی‌های سازه‌ای و مصالح مصرفی و آرایش و موقعیت قرارگیری موج‌شکن‌ها مد نظر است. موج‌شکن‌ها از دیدگاه سازه‌ای انواع گوناگونی مانند توده‌سنگی (با نیم‌رخ ثابت و متغیر)، دیواره‌ای (صندوقه‌ای، سلولی با سپر فلزی یا بتنی، مرکب، بتنی مشبک)، شناور، شمعی، پنوماتیکی، آبی هستند که هر یک از آن‌ها را بر اساس شرایط موجود می‌توان برای ساخت موج‌شکن‌های متصل به ساحل و یا جدا از ساحل به کار گرفت. از دیدگاه آرایش کلی و موقعیت قرارگیری نیز می‌توان سازه حفاظتی را به سازه حفاظتی موازی با ساحل با دهانه ورودی با موج‌شکن عرضی و سازه حفاظتی با موج‌شکن موازی با ساحل با دهانه ورودی به طرف دریا تقسیم کرد (قنبریان ۲۰۱۰). با توجه به انواع موج‌شکن‌های نامبرده، عامل‌های انتخاب و اجرای آن شامل عملکرد قابل انتظار از سازه حفاظتی، ژرفای آب در محل ساخت سازه حفاظتی، شرایط بستر، در دسترس بودن مصالح برای ساخت سازه حفاظتی مد نظر، شرایط محیطی (جوی)، ماشین‌آلات، تجهیزات مناسب و در دسترس برای ساخت سازه حفاظتی است (قنبریان ۲۰۱۰).

موج‌شکن‌های توده‌سنگی

سازه‌های حفاظتی موج‌شکن توده‌سنگی، سازه‌هایی با نیم‌رخ شیب‌دار هستند که بدنه آن‌ها از لایه‌های متفاوت سنگی تشکیل شده است. این سازه‌ها در دو نوع با نیم‌رخ ثابت (استاتیکی) و با نیم‌رخ متغیر (دینامیکی و شکل‌پذیر) و در سه لایه هسته، لایه میانی یا لایه فیلتر و لایه پوششی یا لایه آرمور طراحی و اجرا می‌شوند. مقطع عرضی سازه توده‌سنگی به شکل دوزنقه و در لایه‌های گوناگون آن قطعه‌های سنگی با دانه‌بندی متفاوت است. سازه حفاظتی توده‌سنگی با نیم‌رخ ثابت، از چند لایه سنگی با دانه‌بندی متفاوت ساخته شده است، به‌طوری که سنگ‌های ریزتر لایه‌های داخلی در اثر شسته شدن، از میان فضاها خالی موجود در لایه‌های بیرونی فرار

$$h_c = h + R_c \quad (1)$$

h : متغیری است که به تغییر تراز بستر دریا وابسته است. به طوری که عمدتاً با پیش روی سازه موج شکن از خشکی به سوی دریا و افزایش ژرفای آب، اندازه h نیز افزایش خواهد یافت. اندازه h نیز متأثر از سنجه های پرشماری از جمله بلندی موج، بالاروی موج، سرریزی عبور موج و... است. البته اساساً آب دهی کم سرریزی برای سازه موج شکن مجاز شمرده شده است یا خیر، در تعیین اندازه h مهم است. اما، به گونه ای h تعیین می شود که آب دهی سرریزی در شرایط طرح از حد قابل قبولی کمتر باشد.

ضخامت لایه آرمور

در این پژوهش با استفاده از رابطه ۲ اندازه این سنجه تعیین شد (آیین نامه طراحی بنادر و سازه های دریایی ایران ۲۰۰۶).

$$t = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{\rho_a g} \right)^{1/3} \quad (2)$$

n : تعداد لایه های آرمور (معمولاً دولایه) است. اما، در شرایطی بسته به شکل قطعه ها نیز ممکن است یک لایه و یا سه لایه باشد. k_{Δ} : ضریب لایه، W : وزن قطعه آرمور، ρ_a : جرم مخصوص قطعه آرمور، g : شتاب ثقل زمین و تعداد قطعه های آرمور در واحد سطح با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد.

$$N = nk_{\Delta} (1 - n_j) \left(\frac{W}{\rho_a g} \right)^{-2/3} \quad (3)$$

n_j : ضریب ایمنی عرض تاج است که به شکل تجربی تعیین می شود و از ۱ تا ۵ متغیر است. دیگر مولفه ها مانند رابطه ۲ است. عرض تاج موج شکن توده سنگی تابعی از اندازه سرریزی موج از روی سازه و دیگر شرایط سازه ای (مانند بلندی آزاد تاج نسبت به سطح ایستایی (SWL)، بلندی موج و...) است. هرگاه از روی موج شکن سرریزی نباشد، امواج در تعیین عرض تاج نقشی ندارند. اما، از آنجایی که آب دهی کم سرریزی در شرایط نبودن پیامد وخیم برای سازه مجاز است، معمولاً موج شکن ها بر اساس مجاز بودن اندازه کمی آب دهی سرریزی در شرایط مدی موج طراحی می شوند. از این رو، عرض تاج موج شکن بایستی به اندازه ای در نظر گرفته شود که امکان قرار دادن

نکند. لایه آرمور، دانه بندی، اندازه و مشخصات (شکل، جرم مخصوص و...) (قطعه های سنگی به گونه ای است که توان مقابله و پایداری در برابر حمله امواج را داشته باشد. یعنی اندازه حرکت و جابه جایی قطعه های نزدیک به صفر و یا در حد قابل چشم پوشی باشد. به این ترتیب نیم رخ این سازه ثابت و بدون تغییر شکل باقی می ماند. سازه های حفاظتی/موج شکن توده سنگی در مقایسه با دیگر انواع موج شکن ها مزایا و معایبی دارند. مزایای آن ها شامل سهولت در اجرا، امکان استفاده از ماشین آلات و تجهیزات نسبتاً ساده، امکان به کارگیری و ساخت آنها در بسترهای سست، سهولت نگهداری، هزینه کم تعمیرات آنها و صرفه اقتصادی در ساخت این نوع موج شکن ها در مناطقی با منابع غنی سنگی است. معایب این موج شکن ها در مناطقی با ژرفای آب زیاد است که سبب می شود اجرای آنها نیازمند مصالح سنگی بسیار زیادی باشد. به دلیل شیب دار بودن بدنه موج شکن، امکان استفاده از قسمت داخلی موج شکن به عنوان پهلویی و اسکله وجود ندارد، هنگام اجرای لایه مغزه به ویژه در شرایطی که دریا ناآرام باشد، امکان شسته شدن مصالح سنگی وجود دارد. از سوی دیگر، امکان جابه جایی و پراکندگی سنگ های لایه حفاظتی نیز وجود دارد که این موضوع، هزینه های تعمیر و نگهداری را افزایش خواهد داد (چگینی ۲۰۰۸).

مواد و روش ها

روش طراحی لایه آرمور

سنجه های مربوط به مقطع عرضی، پرشمارند. در این پژوهش، اندازه این سنجه ها بر اساس روش هاریو (۲۰۰۷)، تعیین شدند. روش تعیین اندازه مهم ترین سنجه های استفاده شده به شرح زیر است:

بلندی سازه موج شکن

بلندی سازه موج شکن یا تراز تاج آرمور نسبت به بستر دریا برابر است با مجموع دو سنجه که اختلاف تراز سطح ایستایی (SWL) نسبت به بستر دریا و بلندی آزاد تاج نسبت به سطح ایستایی (SWL) که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

سنجه دیگر مربوط به سنگ و بیانگر دانه‌بندی سنگ است. D_{85} و D_{15} اندازه قطر سنگی است که به ترتیب ۸۵ و ۱۵ درصد وزنی دانه‌ها از آن کوچک‌ترند. این سنجه برای بررسی مسئله پایداری لایه‌های آرمور از جمله مهم‌ترین سنجه‌ها به‌شمار می‌آید.

$D_{85}/D_{15} < 4$ -دانه‌بندی کم‌عرض

$D_{85}/D_{15} > 4$ -دانه‌بندی عریض

$D_{85}/D_{15} > 20$ -دانه‌بندی بسیار عریض

سنجه‌های سازه‌ای مربوط به مقطع عرضی، معرف شکل هندسی سازه هستند. این سنجه‌ها ابعاد مقطع عرضی سازه مد نظر و ضخامت لایه‌های متفاوت سنگی به کار رفته در سازه را مشخص می‌کند (برگی ۲۰۰۸).

یکی از سنجه‌های مهم در این رابطه ضریب آسیب است. این ضریب نخست تابعی از شکل آرمور است. اما، به شیب سازه نیز بستگی دارد. ضریب آسیب از اندازه ۲ برای سنگ تا اندازه‌های بسیار بیشتر برای برخی از قطعه‌ها با خاصیت درگیری زیاد متغیر است. بر اساس این رابطه مشخص است هر چه اندازه ضریب آسیب بیشتر باشد وزن قطعه‌های لازم کمتر خواهد بود.

عبور موج

گاهی انرژی موج در موج‌شکن‌های تاج کوتاه به ناحیه پشت موج‌شکن منتقل می‌شود که این پدیده را عبور موج می‌نامند. عبور موج در سازه‌های توده‌سنگی در اثر سرریزی سازه و یا عبور امواج با دوره تناوب (پریود) بلند از میان سازه نفوذپذیر است. البته در برخی شرایط عبور موج از ترکیب دو وضعیت نامبرده پدید می‌آید. تعیین اندازه عبور موج در طراحی موج‌شکن تاج کوتاه که به‌منظور حفاظت ساحل‌ها ساخته می‌شوند و یا در طراحی موج‌شکن‌های استفاده‌شده در بنادر که در آن‌ها عبور امواج با دوره تناوب (پریود) بلند موجب حرکت کشتی‌ها و یا دیگر اجسام شناور در آن‌ها می‌شوند، اهمیت دارد. اندازه عبور موج در موج‌شکن‌های تاج کوتاه به هندسه سازه (به‌ویژه بلندی آزاد تاج، عرض تاج و ژرفای آب)،

حداقل سه قطعه آرمور در آن فراهم باشد. عرض تاج موج‌شکن با استفاده از رابطه ۴ تعیین شد (آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران ۲۰۰۶).

$$B = m k_{\Delta} \left(\frac{W}{\rho_a g} \right)^{1/3} \quad (4)$$

B : عرض تاج موج‌شکن، m : تعداد قطعه‌های آرمور روی تاج، ρ_a : جرم‌مخصوص آرمور، W : وزن قطعه آرمور، k_{Δ} : ضریب لایه و g : شتاب ثقل زمین است. شیب سازه موج‌شکن به سنجه‌های متفاوتی از جمله وزن قطعه‌های آرمور و خاصیت درگیری (چفت‌وبست) قطعه‌های آرمور بستگی دارد. هر چه وزن قطعه‌های آرمور و خاصیت درگیری آن‌ها بیشتر باشد می‌توان سازه موج‌شکن را با شیب بیشتری ساخت و برعکس هر چه سازه با شیب کمتر و ملایم‌تر ساخته شود، وزن قطعه‌های آرمور لازم برای پایداری در مقابل حمله موج، کمتر خواهد بود. افزون بر این، برای افزایش پایداری آرمور و کاهش روگذری موج می‌توان شیب آرمور در وجه رو به دریای موج‌شکن را به شکل S و یا یک سکوی افقی طراحی کرد (یواس‌ای ۲۰۰۵). یکی از مراحل مهم این پژوهش، تعیین ابعاد لایه آرمور سازه حفاظتی/موج‌شکن گناوه بود. یکی از عامل‌های مهم در تعیین قطعه‌های مناسب برای آرمور اولیه وزن آن‌ها بود که با استفاده از روابط پایداری قابل محاسبه بود. به بیان دیگر، وزن قطعه‌های آرمور برای شرایط معین با استفاده از روابط پایداری محاسبه شد. یکی از معروف‌ترین روابط پایداری رابطه هادسون (۱۹۵۹) است (رابطه ۵) که به‌وسیله سورنسن (۱۹۹۳) تشریح شد.

$$(\Delta D_{n50}) = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad (5)$$

رابطه ۵ به شکل رابطه ۶ تغییر یافت.

$$\frac{\rho_a g H^3}{k_D \Delta^3 \cot \alpha} \quad (6)$$

H : بلندی موج، Δ : جرم‌مخصوص نسبی قطعه آرمور نسبت به آب، $K_D (\rho_u / \rho - 1)$: ضریب آسیب (ضریب پایداری هادسون)، D_{n50} : قطر اسمی قطعه آرمور، α : زاویه شیب موج‌شکن نسبت به افق، ρ_a : جرم‌مخصوص قطعه آرمور و ρ_u : جرم‌مخصوص آب دریا است.

نفوذپذیری سازه و شرایط موج (به‌ویژه بلندی و دوره تناوب موج) بستگی دارد (فن در میر ۱۹۹۹).
آب‌دهی کم روگذری در شرایطی که پیامد وخیمی برای سازه و ناحیه حفاظت‌شده نداشته باشد، مجاز است. معمولاً موج‌شکن‌ها و دیوارهای دریایی بر اساس مجاز بودن اندازه کمی آب‌دهی روگذری تحت شرایط حدی موج طراحی می‌شوند. سنج به بی‌بعد میانگین آب‌دهی روگذری $[Q]$ به‌وسیله اُون (۱۹۸۰) و به شکل رابطه ۷ تعریف شده است.

$$Q = \frac{q}{\left(gH_s^3\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{S}{2\pi}\right)^{1/2}} \quad (7)$$

Q : میانگین آب‌دهی روگذری، H_s : بلندی موج شاخص و S تیزی موج است که از رابطه $S = H/L$ تعیین می‌شود. H و L به ترتیب بلندی و طول موج هستند.

سنج‌های طراحی سازه توده‌سنگی

سنج‌های مهم در طراحی سازه حفاظتی/موج‌شکن توده‌سنگی به سه دسته سنج‌های محیطی (مربوط به موج)، سنج‌های آبی و سنج‌های سازه‌ای تقسیم می‌شوند. سنج‌های محیطی شامل بلندی و دوره تناوب موج، ژرفای آب، شکل طیف موج (خاصیت گروهی موج) و مدت طوفان است. طراح معمولاً امکان اثرگذاری روی آن‌ها را ندارد. مثلاً بلندی موج (H) یکی از سنج‌های بسیار مهم در پایداری موج‌شکن‌های توده‌سنگی است که اثر آن در رابطه هادسون (۱۹۵۹) بسیار مشهود است (وزن قطعه‌های آرمور با مجذور بلندی موج متناسب است). از سنج‌های محیطی می‌توان به بلندی موج وارده (H)، دوره تناوب (T)، زاویه انتشار موج و ژرفای آب (d) اشاره کرد. اثر بلندی و دوره تناوب موج با استفاده از سنج تیزی موج بیان می‌شود. این سنج به بی‌بعد نسبت بلندی موج به طول موج است. در شرایطی که طول موج در آب ژرف با سنج L تعریف می‌شود (نجفی جیلانی و همکاران ۲۰۱۴).

از سنج‌های آبی مهم در طراحی سازه حفاظتی/موج‌شکن توده‌سنگی شامل بالاروی و پایین‌آمدگی موج است. فعالیت موج روی سازه توده‌سنگی موجب نوسان تراز آب در پهنه قائمی که

معمولاً بیش از بلندی موج تابشی است، می‌شود. ترازهای حدی که در هر برخورد موج حاصل می‌شود، بالاروی R_u و پایین‌آمدگی R_d نامیده می‌شوند. این ترازها نسبت به سطح ایستایی تعریف شده‌اند و از جمله سنج‌های مهم طراحی هستند. تراز بالاروی موج برای تعیین تراز تاج سازه، حد بالایی حفاظت و دیگر اجزای سازه‌ای است و به‌عنوان معیاری برای تعیین اندازه آب‌دهی سرریزی موج یا عبور محتمل موج استفاده می‌شود. تراز پایین‌آمدگی موج برای تعیین اندازه ادامه لایه حفاظتی آرمور در پایین سازه و یا تعیین تراز سکوی پنجه به‌کار برده می‌شود. معمولاً اندازه بالاروی موج بیش از اندازه پایین‌آمدگی آن است. گاهی آب‌دهی کم روگذری در شرایط نبودن پیامد وخیمی برای سازه و ناحیه حفاظت‌شده به‌وسیله آن، مجاز است. موج‌شکن‌ها و دیوارهای دریایی بر اساس مجاز بودن اندازه کمی آب‌دهی روگذری تحت شرایط حدی موج طراحی می‌شوند. سنج‌های سازه‌ای مهم در طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی به چهار دسته سنج‌های سازه‌ای مربوط به سنگ، سنج‌های سازه‌ای مربوط به مقطع عرضی، سنج‌های سازه‌ای مربوط به امواج و سنج‌های سازه‌ای مربوط به واکنش سازه تقسیم می‌شوند که تشریح همه آن‌ها در مجال این مقاله نمی‌گنجد.

پایداری لایه آرمور

نیروهای جریان ناشی از موج روی قطعه‌های آرمور را می‌توان با استفاده از رابطه ۸ محاسبه کرد (موریسون و همکاران ۱۹۵۰).

$$\frac{F_D + F_L}{F_G} \approx \frac{\rho_w D_n^2 v^2}{g (\rho_s - \rho_w) D_n^3} = \frac{v^2}{g \Delta_n} \quad (8)$$

F_D : نیروی پسا (درگ)، F_L : نیروی کشش و F_i : نیروی لختی (اینرسی) است. نیروی پایدارکننده نیز نیروی گرانش F_G است. در معادله موریسون و همکاران (۱۹۵۰) با فرض اینکه در مرحله ناپایداری، نیروهای پسا و کشش بر نیروی لختی حاکم خواهند بود، نسبتی کیفی برای پایداری را در قالب مجموع نیروهای پسا و کشش تقسیم بر نیروی گرانش ارائه شد. از سوی دیگر، سنج‌های مرتبط با شرایط محیطی دریا شامل بلندی مشخصه موج $H_{1/3}$ ، H_s

شیب‌های تند جابه‌جایی‌ها به شکل لغزش لایه آرمور به دلیل نشست یا فقدان تکیه‌گاه کافی رخ داده بودند. اندازه آسیب در قالب قطعه‌های جابه‌جاشده معمولاً به شکل جابه‌جایی نسبی D ارائه شد و به شکل نسبت تعداد قطعه‌های جابجاشده به تعداد کل قطعه‌ها و یا ترجیحاً نسبت به تعداد قطعه‌ها در ناحیه‌ای مشخص در پیرامون تراز آب ساکن (SWL)، تعریف شد. پس از بررسی ویژگی‌های نامبرده، روش‌شناسی اجرای این پژوهش تنظیم شد و مدل مفهومی آن به دست آمد (شکل ۱). در این پژوهش، برای مدل‌سازی، فلوم موجود در پژوهشکده خاک و آبخیزداری، تجهیز شد. این فلوم، ۳۳ متر طول، ۱/۵ متر ژرفا و ۵/۵ متر عرض داشت. عرض فلوم به سه بخش جداگانه تقسیم شد. بخش میانی فلوم مربوط به استقرار سازه بود و دو بخش کناری از قطعه‌های سنگی متخلخل جاذب امواج ورودی برای جذب امواج و رفع مشکل انعکاس مجدد امواج تعبیه شده که شیب استقرار آن‌ها ۱:۱۰ است، بود. دیواره‌های جانبی فلوم برای مشاهده سازه از جنس پلکسی‌گلاس شفاف بود و امکان مشاهده و ضبط فرآیند برخورد و جذب موج را در فرآیند آزمایش فراهم شد. همچنین، برای مشاهده و تنظیم سطح آب و پایش نیم‌رخ سازه هنگام آزمایش مناسب بود. ساختار این فلوم به گونه‌ای بود که قابلیت دستگاه موج‌ساز طبیعی با تولید هرگونه موج منظم و نامنظم داشت که فرآیند تنظیم مشخصات موج با استفاده از نرم‌افزار Wave pack انجام شد. همچنین، این فلوم موج‌مجهز به ساختار موج‌ساز DHI^3 و پاروی محرک انتشار موج بود. یکی از مراحل پیش و پس از آزمون تصویربرداری از سازه برای استفاده از روش فتوگرامتری بود که با استفاده از یک ریل از سراسر سازه انجام شد (شکل ۲). در این پژوهش، برای بررسی تغییرات شکل نیم‌رخ سازه و تعیین پایداری قطعه‌های آرمورها از روش نیم‌رخ‌برداری استفاده شد. در این روش، در گام تجربی پس از استقرار سازه موج‌شکن نقاطی به عنوان معیار انتخاب شد. همراه با سکوی محرک (شکل ۲) در بالای شیب سازه، بدنه

$(H_{1/10}, H_o)$ و طول مشخصه موج (L_p, L_{om}, L_m) هستند. همچنین، سنجه‌های سازه‌ای استفاده شده در این پژوهش برای بررسی پایداری آرمور نیم‌رخ سمت دریا سازه، شامل زاویه شیب لایه آرمور، بلندی آزاد، جرم‌مخصوص قطعه آرمور ρ_s ، سنجه‌های دانه‌بندی آرمور سنگی ($D_{n85}, D_{n15}, D_{n50}$) و جرم M و شکل قطعه‌های آرمور جرم‌مخصوص قرارگیری، الگوی چینش و ضخامت لایه آرمور اصلی تخلخل و نفوذپذیری لایه‌های زیرین، لایه (های) فیلتر و مغزه بودند (برگی ۲۰۰۸). در این پژوهش سنجه پایداری^۱ با استفاده از ۹ به دست آمد.

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n} \quad (9)$$

ρ_s : معادل جرم‌مخصوص قطعه آرمور، ρ_w : جرم‌مخصوص آب، V : سرعت مشخصه جریان^۲، N_s : سنجه پایداری است. با جایگزینی برای بلندی موج‌شکن H در رابطه ۹، اندازه N_s محاسبه شد. $D_n = \frac{1}{3}$ (حجم قطعه آرمور) طول یک ضلع مکعب معادل است و $\Delta = (\rho_w / \rho_s - 1)$ است. در این شرایط، نبودن تجاوز از اندازه مد نظر ناپایداری یا به بیان دیگر، درجه مشخصی از آسیب را می‌توان به شکل رابطه ۱۰ ارائه شد.

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n} \leq K_1^a K_2^b K_3^c \dots \quad (10)$$

آسیب وارد شده به لایه آرمور با شمارش تعداد قطعه‌های جابه‌جاشده یا اندازه‌گیری سطح فرسایش یافته لایه آرمور در نیم‌رخ سازه برآورد شد. در هر دو حالت، اندازه آسیب به شرایط آب‌پویایی دریا در بازه زمانی مشخص سنجیده شد. روش محاسبه بر پایه شرایطی همچون بدون جابه‌جایی، تغییر جزئی جایگاه قطعه‌های آرمور (تکان‌خورده) و تغییر موقعیت قطعه‌های آرمور معادل حداقل معینی D_n یا ha گزارش شده که در آن ha طول (بلندی) قطعه آرمور بود. جابه‌جایی‌ها یا به شکل خارج شدن قطعه‌های آرمور به بیرون لایه و یا به شکل لغزش در امتداد شیب در راستای پر کردن فضای خالی به وجود آمده، بود. در

1 Stability parameter

2 Characteristic flow velocity

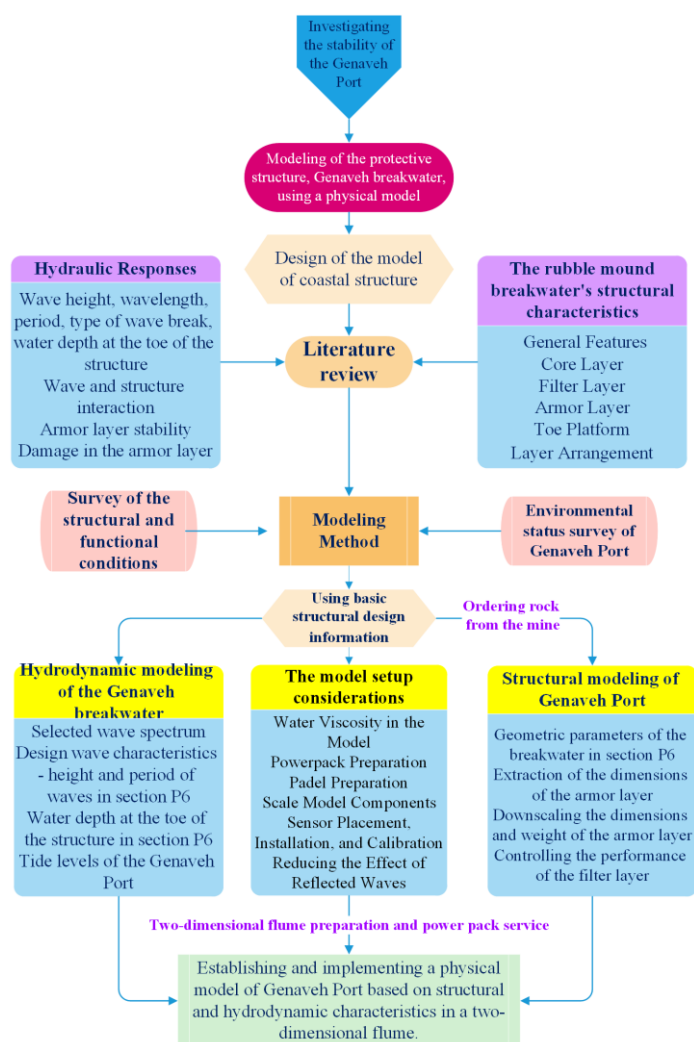
شیب موج شکن به ۱۰ ردیف، و هر ردیف به ۱۰ بخش تقسیم شد. همچنین، با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon EOS 750d) تصویرهای قبل و بعد از انتشار امواج به سازه مد نظر، ثبت شد. سپس، با استفاده از این تصویرها و نقاط معیار تعیین شده، فرآیند تحلیل پایداری قطعه های آرمور با استفاده از نرم افزار ArcGIS انجام شد. مراحل اجرا، آماده سازی و مدل سازی در شکل ۳ نشان داده شده است. برخی از فرض های روند پژوهش به این شرح بود. در این پژوهش، این مدل سازی در مقیاس کوچک به شکل هندسی و پویایی مشابه با شرایط واقعی انجام شد. موج های تولید شده در فلوم موج ساز نمایان گر شرایط واقعی (از دیدگاه بلندی، دوره تناوب) بودند. اثر باد و جریان های آب پایین و آب بالا در این مدل سازی نادیده گرفته شد و فقط تأثیر موج بر هندسه بندر و پدیده های آب پویایی ناشی از آن بررسی شد. مرزهای جانبی و کف فلوم به عنوان مرزهای سخت و بازتابنده در نظر گرفته شده اند. در این مدل سازی، اثر نیروی گرانش ثابت و برابر با شرایط آزمایشگاهی استاندارد در نظر گرفته شد. معیار مقیاس، یکی از مهم ترین موضوع ها در اجرای مدل سازی است. در این پژوهش، اثرات مقیاس رینولد و فرود لحاظ شد و بر اساس تشابه فرود مدل سازی شد. افزون بر این، از پدیده های رسوب گذاری و انتقال رسوب صرف نظر شد. توزیع ژرفای آب در طول فلوم به شکل یکنواخت و همگن

انجام شد و تغییرات ژرفای منطقه واقعی در مقیاس مدل لحاظ نشد. تا حد امکان پدیده هایی مانند شکست موج، تلاطم شدید و ورود هوا به داخل آب (aeration) در مقیاس آزمایشگاهی ساده سازی شد. در شرایط آرامش اولیه مدل سازی انجام شد و سپس امواج از حالت سکون به حرکت در آمدند. با استفاده از ساحل جاذب یا ساختار جذب کننده موج پدیده انعکاس موج از انتهای فلوم مهار شد یا جذب شد تا اثرات بازتاب در نتایج خطا ایجاد نکند. در این پژوهش فلوم استفاده شده مجهز به ساختار جاذب موج بود.

نتایج و بحث

محاسبات اجزای اصلی موج شکن بندر گناوه

بر اساس اطلاعات در دسترس از شرایط آب پویایی محل موج شکن بندر گناوه، و با توجه به اینکه برای سازه مد نظر دوره بازگشت ۵۰ ساله در نظر گرفته شده بود و همچنین با لحاظ کردن زوایای برخورد موج با ساحل، مشخصات امواج وارده به موج شکن به در جدول ۱ آورده شده است. اجزاء، برپایی و نتایج مدل فیزیکی بندر گناوه مطابق با دستور العمل موسسه DHI دانمارک و DELFT هلند انجام شد. نتایج این پژوهش در راستای پایداری سازه حفاظتی با پوشش توده سنگی و از دیدگاه آستانه پایداری نیم رخ سازه و تغییرات در شرایط طوفانی با نتایج پژوهش ولتر و همکاران (۲۰۰۷) هماهنگی دارد.



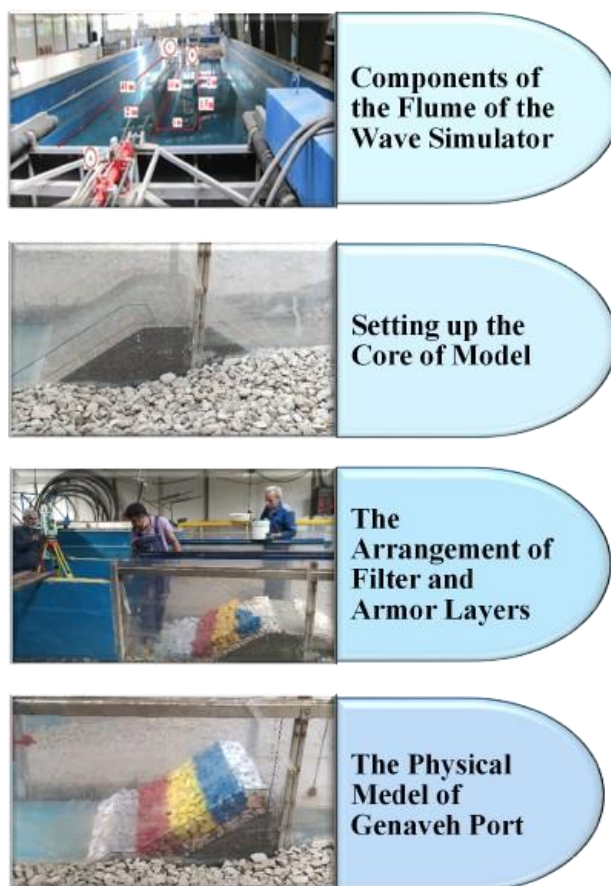
شکل ۱- مدل مفهومی روش پژوهش.

Figure 1- The conceptual model of the research methods.



شکل ۲- فتوگرامتری مدل فیزیکی سازه حفاظتی بندر گناوه قبل و بعد از آزمایش‌ها.

Figure 2- Photogrammetry of the physical model of protective structure of Genaveh port before and after tests.



شکل ۳- روند نمای آماده‌سازی و مدل‌سازی سازه حفاظتی بندر گناوه.

Figure 3- Procedures of the physical model setup of the protective structure of Genaveh Port.

جدول ۱- مشخصات امواج در مدل‌سازی موج‌شکن بندر گناوه.

Table 1- Characteristics of waves using modeling of the Genaveh Port.

Selected profile	Direction of the breakwater	Effective wave height (hs)	Design wave height (m)	Wave period (s)
P6 Section	157	2.67	2.67	6.8
	180	2.53	2.53	6.9
	270	2.42	2.42	5.9
	292	2.34	2.34	6.4
	315	2.71	2.71	6.4

و فیلتر تهیه شد. ویژگی‌های مصالح سنگی برای لایه‌های آرمور و فیلتر به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

مدل‌سازی دانه‌بندی لایه‌های موج‌شکن با استفاده از روابط تجربی فن‌درمیر (۱۹۹۹) و هادسن (۱۹۵۹) اندازه D_{n50} و دامنه وزنی و حجمی آرمورهای استفاده شده و سنگ به دست آمد. بر اساس مقیاس هدف که ۱:۲۰ بود مصالح سنگی برای لایه‌های آرمور

جدول ۲- دامنه وزنی و ابعادی لایه آرمور در مقیاس ۱:۲۰

Table 2- The weight ranges of rocks in 1:20 scale used in the modeling of the armor layer of the Genaveh Port.

Rock component ratio	Weight range of armor layer (gr)	Dimension range of armor layer (cm)
25 %	326 - 380	5.33 – 5.61
25 %	380 - 435	5.61 – 5.87
25 %	435 - 489	5.87 – 6.1
25 %	489 - 543	6.1 – 6.32

جدول ۳- دامنه وزنی و ابعادی لایه فیلتر در حالت مقیاس ۱:۲۰

Table 3- The weight ranges of rocks in a 1:20 used in the modeling of the filter layer of the Genaveh Port.

Rock component ratio	Weight range of filter layer (gr)	Dimension range of filter layer (cm)
50 %	32.6 – 70.5	2.48 – 3.2
50 %	70.5 – 108.7	3.2 – 3.7

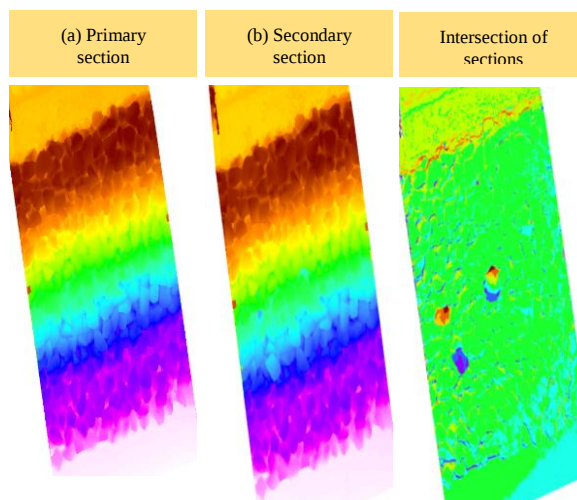
ویژگی‌های امواج مدل‌سازی

ویژگی‌های امواج استفاده‌شده قبل از ریزمقیاس سازی در جدول ۴ ارائه‌شده است. داده‌های این جدول یک ابزار مهم برای جمع‌بندی و تحلیل نتایج آزمایش‌های گوناگون طراحی‌شده است. هدف اصلی انجام این آزمایش‌ها بررسی رفتار و عملکرد موج‌شکن‌های توده‌سنگی تحت شرایط متفاوت امواج و ژرفای آب بود. جدول ۴، شامل اطلاعات جامع و با جزئیات لازم که به محققان و طراحان کمک می‌کند تا تحلیل دقیقی از نتایج به‌دست‌آمده انجام دهند. نتایج هر کدام از آزمایش‌های این جدول برای ارزیابی شرایط مختلف در طراحی و عملکرد موج‌شکن‌ها به‌کاربرده شد. هر یک از این آزمون‌ها، دو بار تکرار و با پسوندهای a, b, c مشخص شدند. این تکرارها برای ارزیابی دقت و صحت نتایج در شرایط مشابه انجام شدند تا از نتایج به‌دست‌آمده اطمینان حاصل شود و قابلیت بازتولید و اعتبار افزایش یابد. آزمایش اولیه (T1) در شرایط پایه برای طراحی موج‌شکن انجام شد. آزمایش (T2) در شرایط متفاوت از لحاظ تراز آب یا تغییرات موج انجام شد. آزمایش (T3) در شرایط بحرانی‌تر که در آن بلندی موج اکثراً متغیر بود انجام شد. آزمایش (T4) در بحرانی‌ترین شرایط از دیدگاه امواج و ژرفای‌های گوناگون برای بررسی بیشترین تأثیرات انجام شد. دوره بازگشت امواج در

ستون دوم جدول ۴، به‌طور ویژه روی دوره بازگشت امواج تمرکز دارد که در آن، زمان رخداد امواج با مشخصات ویژه در یک بازه زمانی معین آورده‌شده است. دوره بازگشت امواج، به‌عنوان یک سنجش مهم در طراحی سازه‌های دریایی، برای پیش‌بینی تغییرات امواج و تأثیر آن‌ها در طول زمان استفاده می‌شود. در جدول ۴، سه نوع متفاوت از دوره‌های بازگشت ۵۰ ساله آب‌بالا آورده‌شده است که مربوط به امواجی است که در طول یک دوره بازگشت ۵۰ ساله به‌طور میانگین در بالاترین سطح از بلندی بوده‌اند. این سناریو به‌ویژه برای ارزیابی پایداری موج‌شکن‌ها در برابر امواج شدید و غیرعادی در نظر گرفته‌شده است. یک دوره بازگشت ۵۰ ساله آب‌پایین، مربوط به امواجی است که در طول یک دوره بازگشت ۵۰ سال به‌طور میانگین در پایین‌ترین سطح از بلندی بوده‌اند. از این داده‌ها برای پیش‌بینی رفتار سازه‌ها در شرایط با بحران کم و در زمان‌هایی که امواج ضعیف‌تر هستند، استفاده شد. دوره بازگشت یک‌ساله، معمولاً مربوط به امواجی است که در یک دوره زمانی یک‌ساله (همانند آب‌پایین و آب‌بالا) رخداد آن‌ها احتمال دارد. این سناریو بیشتر برای بررسی رفتار سازه‌ها در شرایط نوسان‌های کوتاه‌مدت امواج به‌کار می‌رود. سناریوی حد نهایی و بحرانی ۱/۲ برابر آب‌بالا (برای آزمون

تغییرات ریخت‌شناسی نیم‌رخ سازه
تغییرات ریخت‌شناسی نیم‌رخ سازه با روش
فتوگرامتری قبل و بعد از آزمون تحت تابش ۱۱۰
دقیقه امواج در شرایط آب‌بالا و آب‌پائین (دوره
بازگشت ۵۰ ساله)، دوره بازگشت یکساله و ۱/۲ برابر
آب‌بالا و هرکدام با دو تکرار به‌دست آمد. یک نمونه از
این تغییرات در شکل ۴ برای آزمون نهم در شرایط
۱/۲ برابر آب‌بالا نشان‌داده شده است.

پایانی)، مربوط به امواجی است که با شدت بسیار زیاد
و ۱/۲ برابر از حالت آب‌بالا می‌باشند. ستون پنجم
جدول ۴، نشان‌دهنده تراز بستر در مقایسه با CD
است. این تراز مربوط به بلندی یا ژرفای بستر در
مقایسه با سطح طراحی CD است. بستر دریا تأثیر
زیادی بر شیوه انتقال انرژی موجی و عملکرد
موج‌شکن‌ها دارد. اطلاعات مربوط به این داده‌ها در
جدول ۴، به‌ویژه در طراحی دقیق‌تر و تحلیل رفتار
موج‌شکن‌ها در بسترهای گوناگون اهمیت زیادی دارد.



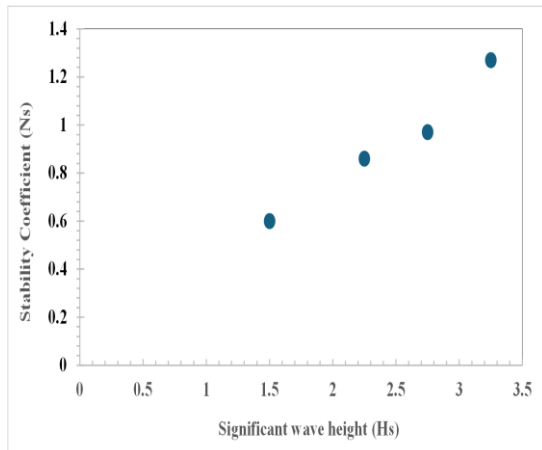
شکل ۴- ریخت‌شناسی مقطع (a) قبل از تابش موج، (b) بعد از تابش موج، (c) تغییرات ریخت‌شناسی.
Figure 4- Represents a) the profile shape before test, b) the profile after test, c) the intersection of profiles after the 9th test.

جدول ۴- نتایج تقابل موج مشخصه جلوی پاروی مولد موج و ورودی سازه موج‌شکن.

Table 4- Resultant data on the interaction of waves in front of the paddle and reaching waves to the model.

Test No.	Return Period (yr)	Wave height (m)	Period (s)	Bed elevation related to Chart Datum (m)	Elevation of design (m)	Depth (m)
T1A	50 in high tide	2.7	7	5	2.7	7.7
T1B	50 in high tide	2.7	7	5	2.7	7.7
T1C	50 in high tide	2.7	7	5	2.7	7.7
T2A	50 in low tide	2.2	7	5	Low tide	5
T2B	50 in low tide	2.2	7	5	Low tide	5
T2C	50 in low tide	2.2	7	5	Low tide	5
T3A	One year	1.5	5.2	5	2.7	7.7
T3B	One year	1.5	5.2	5	2.7	7.7
T3C	One year	1.5	5.2	5	2.7	7.7
T4*1.20A	1.2 * 50 in high tide	3.24	7	5	2.7	7.7
T4*1.20B	1.2 * 50 in high tide	3.24	7	5	2.7	7.7
T4*1.20C	1.2 * 50 in high tide	3.24	7	5	2.7	7.7

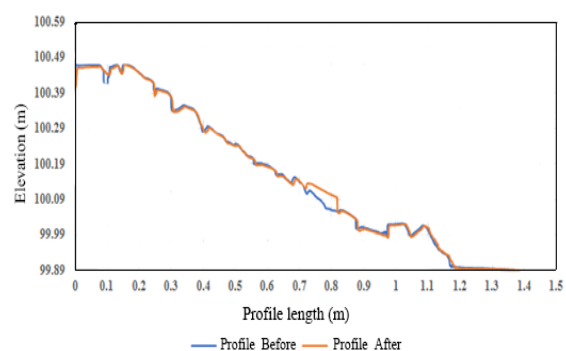
ابعاد و چیدمان صحیح آرمورها وابسته است سبب افزایش پایداری سازه‌های توده‌سنگی شد. به بیان دیگر، هر چه اندازه این سنجه بیشتر باشد، موج‌شکن توانایی بیشتری در مقابله با نیروهای شدید موجی و جریان‌های دریایی دارد و احتمال جابه‌جایی و نابودی آرمورها کمتر است. این یافته به‌ویژه در شرایطی که بلندی امواج و شدت جریان‌ها بیشتر باشد، اهمیت بیشتری دارد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در شرایط بهینه، موج‌شکن توده‌سنگی قادر است نیروهای وارده را به شکل مؤثری جذب کند و از جابه‌جایی‌های ناخواسته سنگ‌ها جلوگیری کند. افزون بر این، آرمورها در این شرایط به‌طور یکنواخت و پایدار روی هم قرار می‌گیرند و اثرات منفی فرسایش یا لغزش به حداقل می‌رسد. این ویژگی بر کاهش تعمیرات و هزینه‌های نگهداری سازه‌های موج‌شکن تأثیرگذار است. چکیده تحلیل سنجۀ پایداری (N_s) در برابر بلندی ویژه امواج (H_s) در شرایط چهارگانه آزمون در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار رابطه سنجۀ پایداری و ژرفای مؤثر.
Figure 6- Diagram of the relationship of the stability parameter and significant wave height.

رابطه میان سنجۀ پایداری و بلندی ویژه در موج‌شکن‌ها یکی از مسائل مهم در طراحی و ارزیابی عملکرد این سازه‌ها است. این دو عامل به‌طور مستقیم با شیوۀ رفتار موج‌شکن در برابر نیروهای محیطی و تأثیرات موجی و جریان‌های دریایی ارتباط دارند. این دو عامل به شکل زیر به یکدیگر وابسته است.

این جابجایی‌ها بر اساس موقعیت هر قطعه در ابر نقاط به نقاط معیاراً سنجیده شد. سپس، از اندازه‌های کمی برای تهیه نمودار جابجایی‌ها و آسیب به موج‌شکن استفاده شد (شکل ۵). استفاده از روش تصویرسنجی در این پژوهش به‌وسیله پژوهش روته و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر بررسی ناپایداری لایه آرمور در مدل آزمایشگاهی تأکید شده است. در این پژوهش نیز از روش به‌کار گرفته شده به‌وسیله روته و همکاران (۲۰۱۶) برای محاسبه ضریب ناپایداری (N_s) استفاده شد.



شکل ۵- نمونه تغییرات رخ داده در شکل نیم‌رخ شیب سازه در آزمون نهم مدل‌سازی.

Figure 5- Representative changes in the slope profile of physical model structure observed during the 9th test.

تحلیل سنجۀ پایداری لایه آرمور

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی پایداری در این پژوهش، سنجۀ پایداری لایه آرمورها بود که نشان‌دهنده وضعیت پایداری و کارایی آرمورها در موقعیت‌های گوناگون طراحی بود. سنجۀ پایداری آرمورها به‌منظور بررسی عملکرد سازه‌های موج‌شکن توده‌سنگی در برابر نیروهای محیطی گوناگون، به‌ویژه امواج و جریان‌های دریایی، ارزیابی شد. سنجۀ پایداری آرمورها بیانگر بررسی شیوۀ چیدمان و مقاومت سنگ‌ها در برابر نیروهای اعمالی و اندازه احتمال جابه‌جایی یا نابودی آنها تحت تأثیر شرایط جوی و موجی گوناگون است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش اندازه سنجۀ پایداری که به‌طور مستقیم به

اثر بلندی موج بر پایداری سازه

در بلندی‌های بیشتر، نیروی امواج و جریان‌ها به شدت روی سازه‌های موج‌شکن تأثیرگذارند. این تأثیرات باعث می‌شود که برای پایداری سازه در بلندی‌های بیشتر، نیاز به چیدمان بهتر، ابعاد بزرگ‌تر مصالح و افزایش مقاومت مصالح باشد. این تغییرات در طراحی می‌تواند به افزایش سنجه پایداری منجر شود. زیرا، سازه برای مقابله با نیروهای بیشتر و خطرات فرسایش و جابه‌جایی باید مقاوم‌تر باشد. اثر سنجه پایداری بر بلندی ویژه، در شرایط مشابه، زمانی که سنجه پایداری افزایش یابد، سازه‌های موج‌شکن نیروهای بیشتری را تحمل می‌کنند و در بلندی‌های بیشتر و شرایط سخت‌تر عملکرد بهتری دارند. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که امواج به شدت به سازه برخورد می‌کنند، اهمیت دارد. در چنین شرایطی، بلندی ویژه موج‌شکن و اندازه‌گیری صحیح آن می‌تواند به جلوگیری از جابه‌جایی سنگ‌ها و نابودی سازه کمک کند. در زمان طراحی موج‌شکن‌ها باید ارتباط میان بلندی ویژه و سنجه پایداری با دقت بررسی شود. مثلاً، در سازه‌هایی که در بلندی‌های ویژه کم ساخته می‌شوند، ممکن است نیاز به کاهش ابعاد و وزن مصالح باشد. زیرا، نیروی موجی در این ژرفاها کمتر است. اما، در بلندی‌های بیشتر، سازه باید با استفاده از مصالح بزرگ‌تر و مقاوم‌تر طراحی شود تا بتواند با نیروی بیشتر امواج مقابله کند. بلندی ویژه تأثیر زیادی بر چگونگی وارد شدن نیروهای موجی به سازه دارد و در ژرفاهای بیشتر، نیروی موجی افزایش می‌یابد. سنجه پایداری بیانگر اندازه مقاومت سازه در برابر این نیروها است و در ژرفاهای بیشتر برای حفظ پایداری باید افزایش یابد. طراحی موج‌شکن‌ها باید به گونه‌ای باشد که سنجه پایداری بر اساس بلندی ویژه بهینه‌سازی شود تا بتواند نیروی امواج را به‌طور مؤثر جذب کند و از جابه‌جایی یا نابودی سنگ‌ها جلوگیری کند. در طراحی صحیح موج‌شکن‌ها باید رابطه دقیق و بهینه‌ای میان بلندی ویژه و سنجه پایداری در نظر گرفت تا سازه در برابر تغییرات محیطی و نیروی امواج مقاوم باشد و طول عمر بیشتری داشته باشد. بر اساس شکل

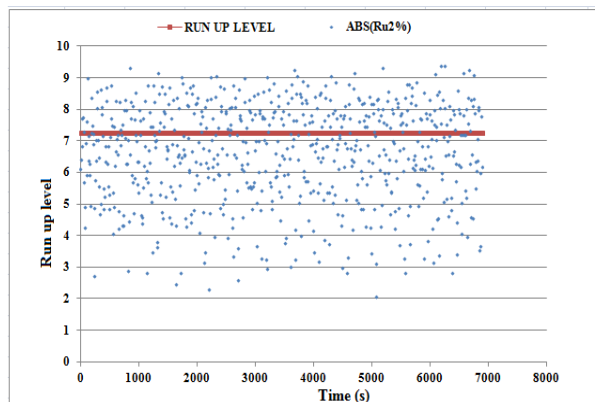
۶، لایه آرمور در شرایط آب‌بالا با امواج H_s برابر $2/8$ به مرز ناپایداری رسید. این در حالی بود که شرایط ناپایداری برای شرایط $1/2$ آب‌بالا در برابر $3/3$ رخ خواهد داد. نتایج پژوهش پاور و همکاران (۲۰۲۵) از دیدگاه اجرای مدل، نوع آزمون‌ها و بررسی پایداری با نتایج این پژوهش مقایسه شد. در پژوهش پاور و همکاران (۲۰۲۵) نیز مقطع انتخاب‌شده، مقطع نزدیک رأس موج شکن بود و همچون بندر گناوه پایداری دو لایه فیلتر و دو لایه آرمور سنجیده‌شده است. نتایج پژوهش پاور و همکاران (۲۰۲۵) مبنی بر ناپایداری نیم‌رخ در شرایط طوفانی با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نتایج و تحلیل سنجه بالاروی و روگذری

در این پژوهش هدف مهم از مقایسه نتایج آزمایشگاهی بالاروی امواج در موج‌شکن‌ها با نتایج بالاروی معیار به‌دست آمده از محاسبات مهندسان مشاور، ارزیابی دقت پیش‌بینی‌ها و صحت مدل‌های طراحی موج‌شکن‌ها بود. نتایج مقایسه بالاروی امواج در آزمایشگاه با نتایج به‌دست آمده از محاسبات این امکان را برای مهندسان فراهم می‌آورد تا نتایج آزمایشگاهی را با محاسبات نظری مقایسه کنند و مدل‌های طراحی و پیش‌بینی عملکرد موج‌شکن‌ها را بهینه‌سازی کنند. اندازه صحت نتایج به‌دست آمده از محاسبات به شکل آزمایشگاهی نیز تحلیل می‌شود. در حالی که با آزمایش‌های فیزیکی می‌توان نتایج دقیق‌تری در شرایط ویژه و پیچیده ارائه داد، محاسبات مهندسان مشاور ابزار سریع‌تر و مقرون به‌صرفه‌تری برای پیش‌بینی‌های اولیه و طراحی سازه‌های موج‌شکن هستند. استفاده از این دو روش به شکل ترکیبی، سبب طراحی‌های بهینه‌تر و کارآمدتر برای حفاظت از سازه‌ها در برابر امواج خواهد شد.

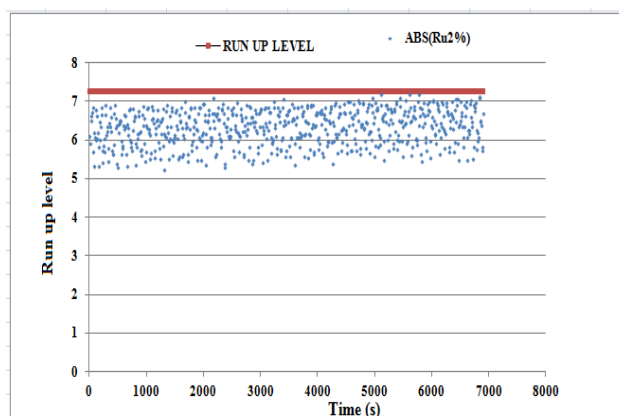
عبور امواج از بدنه موج‌شکن یک پدیده مهم در تحلیل عملکرد سازه‌های بندری است که در آن امواج پس از برخورد با موج‌شکن یا سازه‌های مشابه، قسمتی از انرژی خود را از دست می‌دهند و قسمتی از آن‌ها به سمت بخش داخلی بندر یا ساحل عبور می‌کند (هوانگ

جیانگ (۲۰۱۵). این پدیده می‌تواند تأثیرات زیادی از این‌رو، در طراحی سازه‌های بندری باید به آن توجه روی رفتار آب و سازه‌ها داشته باشد. ویژه‌ای شود.



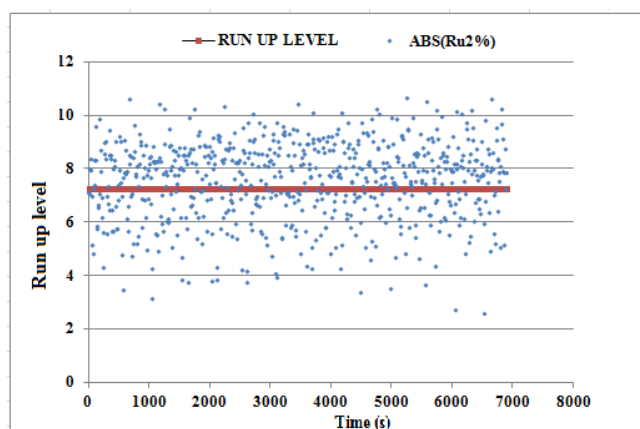
شکل ۷- مقایسه بالاروی پیش‌بینی شده در طراحی و Ru2% در آزمایش تکرار T1A.

Figure 7- The comparison of the designed wave run-up and Ru2% of the T1A test.



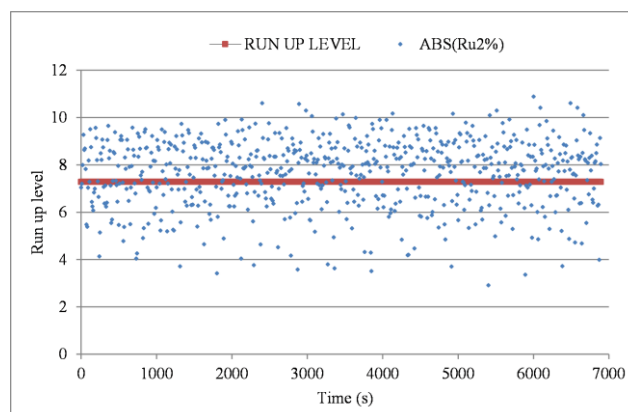
شکل ۸- مقایسه بالاروی پیش‌بینی شده در طراحی و Ru2% در آزمایش تکرار T2B.

Figure 8- The comparison of the designed wave run-up and Ru2% of the T2B test.



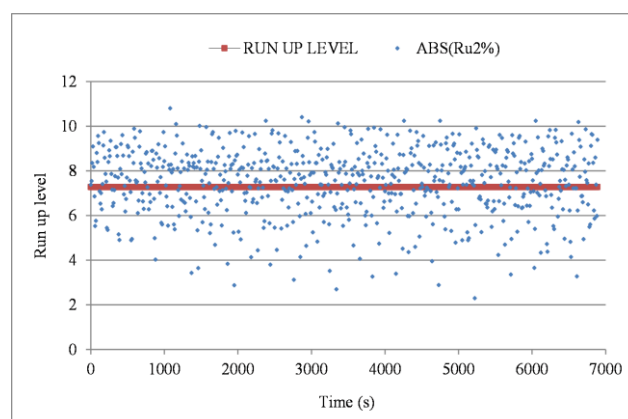
شکل ۹- مقایسه بالاروی پیش‌بینی شده در طراحی و Ru2% در آزمایش تکرار T3C.

Figure 9- The comparison of the designed wave run-up and Ru2% of the T3C test.



شکل ۱۰- مقایسه بالاروی پیش‌بینی‌شده در طراحی و Ru2% در آزمایش تکرار T4B.

Figure 10- The comparison of the designed wave run-up and Ru2% of the T4B test.



شکل ۱۱- مقایسه بالاروی پیش‌بینی‌شده در طراحی و Ru2% در آزمایش تکرار T4C.

Figure 11- The comparison of the designed wave run-up and Ru2% of the T4C test.

ج) عبور امواج از میان ساختار موج‌شکن:

سرانجام، زمانی که امواج به مدت کافی با بدنه موج‌شکن درگیر می‌شوند، ممکن است بخش‌هایی از آب از میان شکاف‌ها، فضاهای خالی یا نواحی با مقاومت کمتر سازه عبور کنند و به سمت پشت موج‌شکن برسند. این موضوع می‌تواند سبب تغییر در ویژگی‌های امواج، مانند کاهش بلندی و تغییر در جهت آن‌ها شود. بر اساس روند آزمایش‌ها، افزون بر موضوع روگذری امواج، پدیده عبور از بدنه تاج موج‌شکن نیز بررسی شد. نتایج به دست آمده از روگذری و عبور موج در آزمایش‌های اصلی در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

مراحل عبور امواج از بدنه موج‌شکن

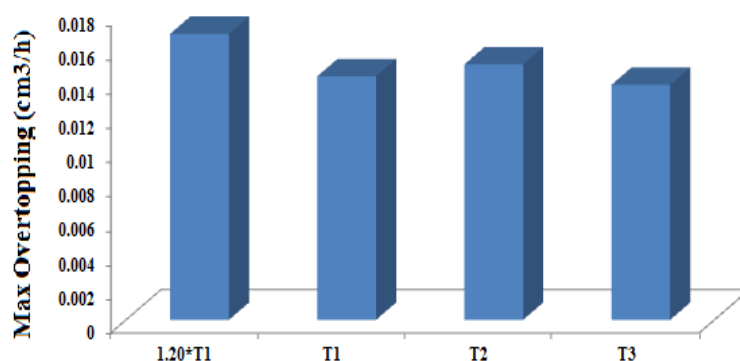
مراحل عبور امواج از بدنه موج‌شکن شامل سه مرحله اصلی بود.

الف) برخورد اولیه امواج با موج‌شکن:

در این مرحله، امواج در برخورد با بدنه موج‌شکن بخشی از انرژی خود را به واسطه ویژگی‌های سازه‌ای مانند شیب، زبری سطح و هندسه از دست می‌دهند.

ب) کاهش بلندی امواج در اثر شکست:

پس از برخورد اولیه، در اثر تعامل موج با سطح شیبدار یا لایه‌های آرمور، بخشی از انرژی موج مستهلک شده و منجر به شکست موج و کاهش بلندی آن می‌شود.



شکل ۱۲- نتایج روگذری و عبور امواج.

Figure 10- The results of the overtopping waves from the breakwater.

باشد. در آزمون T1B، اندازه روگذری ۰/۰۱۴۳ سانتی‌متر مکعب بر متر به‌دست آمد. این اندازه بیانگر عبور حجم معینی از آب است که در مقایسه با دیگر آزمون‌ها کمتر بود. از سوی دیگر، در آزمون T2B، اندازه روگذری به ۰/۰۱۵ سانتی‌متر مکعب بر متر افزایش یافت. این یافته بیانگر آن بود که در شرایط مشابه ولی با یک تغییرات جزئی در شرایط آزمایش (مثل شدت امواج یا سرعت جریان)، اندازه آب‌دهی روگذری کمی افزایش یافت. در آزمون T3B، اندازه روگذری به ۰/۰۱۳۸ سانتی‌متر مکعب بر متر کاهش یافت. این اندازه کمی کمتر از آزمون‌های دیگر بود. این یافته بیانگر شرایط گوناگون جریان آب یا ویژگی‌های ویژه امواج در این آزمایش بود. در آزمون 1.2*T1B، که مربوط به شرایط بحرانی‌تر از دیدگاه بلندی موج بود، اندازه روگذری به ۰/۰۱۶۸ سانتی‌متر مکعب بر متر به‌دست آمد. این داده بیشتر از نتایج دیگر آزمون‌ها بود و بیانگر افزایش آب‌دهی روگذری متناسب با افزایش بلندی موج یا شدت امواج بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان گفت که افزایش بلندی موج (در آزمون 1.2*T1B) سبب افزایش آب‌دهی روگذری از سازه شد و این افزایش تقریباً ۱۳٪ آزمون T1B بود. این یافته بیانگر آن بود که حتی تغییرات کوچک در بلندی موج بر اندازه روگذری به‌طور قابل‌توجهی تأثیرگذار بودند. این یافته بیانگر آن بود که سازه‌های موج‌شکن حساس به تغییرات بلندی موج هستند و ممکن است در شرایط امواج بحرانی

در این پژوهش، آزمایش‌هایی برای تحلیل رفتار سازه موج‌شکن بندر گناوه در شرایط آزمایشگاهی و در مقیاس مدل‌سازی شده در کانال فلوم انجام شد. هدف از انجام این آزمایش‌ها ارزیابی پدیده روگذری^۵ از سازه‌های موج‌شکن در برابر امواج و جریان‌های گوناگون بود. پدیده روگذری بیانگر اندازه آبی است که از سازه موج‌شکن عبور می‌کند و به‌طور مستقیم به دریا یا فضای پشت سازه وارد می‌شود. در این پژوهش، اندازه روگذری امواج به‌وسیله آبگیر تعبیه شده در پشت سازه تعیین شد. مقطع این آبگیر چهارضلعی و بلندی آن مشخص بود. بنابراین، واحد اندازه‌گیری روگذری بر مبنای پر شدن بلندی آبگیر در ازای آب‌دهی وارده، تعیین شد. در این فرآیند، آب‌دهی روگذری اندازه‌گیری و بر اساس سانتی‌متر مکعب بر متر به ازای هر متر بلندی (h) گزارش شد. برای تحلیل دقیق‌تر، هر آزمایش در شرایط ویژه انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است. یکی از جنبه‌های مهم در تحلیل پدیده روگذری، بررسی شیوه تغییر اندازه آب‌دهی روگذری در آزمایش‌های گوناگون است. در این پژوهش، نتایج آزمایش‌های روگذری نشان داد که تغییرات اندازه روگذری در هر یک از آزمایش‌ها کم، اما معنادار بود. این تغییرات می‌تواند ناشی از تفاوت شدت امواج یا تغییرات جزئی در طراحی و شرایط محیطی آزمایش

^۵ Overtopping

دچار مشکلاتی در جلوگیری از عبور آب شوند. در شرایطی که تغییرات میان آزمون‌ها به‌طور آشکار به تغییرات در بلندی موج نسبت داده می‌شود، باید توجه داشت که دیگر سنج‌های محیطی نظیر ویژگی‌های موج، سرعت جریان آب، جنس و طراحی سازه نیز می‌توانند تأثیرگذار باشند. مثلاً اگر در آزمایش T2B جریان آب با سرعت بیشتری وارد کانال فلوم شده باشد، می‌تواند باعث افزایش اندازهٔ روگذری در مقایسه با آزمایش T3B که در آن جریان کندتر است، شود. به این ترتیب، در طراحی موج‌شکن‌ها باید سازه‌ها به‌شکلی طراحی شوند که بتوانند در شرایط گوناگون به‌ویژه در برابر امواج با بلندی‌های متفاوت، عملکرد مناسبی داشته باشند. نتایج این پژوهش نشان داد که سازه‌های موج‌شکن در بندر گناوه تحت تأثیر بلندی موج و شرایط محیطی دیگر (سرعت جریان آب) بودند. همچنین، این نتایج بیانگر آن بود که افزایش بلندی موج به‌طور معناداری سبب افزایش آب‌دهی روگذری شد. مثلاً، در آزمایش $T1B \times 1.2$ ، که مربوط به شرایط بحرانی‌تری بود، اندازهٔ روگذری 0.168 سانتی‌متر مکعب بر متر به‌دست آمد. این یافته بیانگر تأثیر زیاد افزایش بلندی موج بر عملکرد سازه بود. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی برای طراحی سازه‌های مشابه در دیگر بنادر و مناطق ساحلی باشد. در طراحی موج‌شکن‌ها، باید به بلندی و شدت امواج توجه شود تا از بروز مشکلات ناشی از روگذری جلوگیری شود و عملکرد سازه‌ها در برابر امواج بحرانی بهبود یابد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، موج‌شکن بندر گناوه بر اساس شرایط آب‌پویایی منطقه تحلیل و طراحی شد. در این راستا، با در نظر گرفتن دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله برای امواج و استفاده از ویژگی‌های موج‌شکن، مشخصات امواج وارده به موج‌شکن شامل بلندی موج، دوره تناوب و جهت‌گیری امواج بر اساس اطلاعات موجود تعیین شد. از این داده‌ها به‌عنوان داده‌های ورودی برای طراحی سازه و انتخاب مقطع مناسب موج‌شکن در

استفاده شد. همچنین، با استفاده از نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی و مدل‌های استفاده‌شده، تغییرات ریخت‌شناسی و پایداری سازه در مواجهه با امواج بررسی شد. نتایج تحلیل پایداری لایه‌های آرمور با استفاده از رابطهٔ موریسون و نیروی گرانش، کشش و درگ نشان داد که برای جلوگیری از ناپایداری، باید نسبت‌های مشخصی از سنج‌های گوناگون رعایت شود. نتایج این پژوهش در طراحی مقاوم‌تر و مؤثرتر موج‌شکن‌ها کاربرد دارد و می‌توان از آنها به‌عنوان بستری مطمئن در طراحی سازه‌های مشابه در دیگر بندرها و نواحی ساحلی با شرایط مشابه و به‌ویژه در مواجهه با شرایط بحرانی امواج با دوره بازگشت بلندمدت، استفاده کرد. با استفاده از این نتایج می‌توان طراحی موج‌شکن‌ها و محافظت بهتر از سواحل در برابر امواج را بهبود داد و در بلندمدت هزینه‌های نگهداری و تعمیرات سازه‌ها را کاهش داد. دانه‌بندی و مشخصات مصالح با استفاده از رابطه‌های تجربی ون‌درمیر و هادسن تعیین شد و ویژگی‌های فیزیکی مصالح لایه‌های آرمور و فیلتر برای مقیاس مدل $1:20$ محاسبه شد. در این مقیاس، دانه‌بندی مصالح برای لایهٔ آرمور در دامنهٔ ابعاد $5/33$ تا $6/32$ سانتی‌متر و برای لایهٔ فیلتر در دامنهٔ ابعاد $2/48$ تا $3/7$ سانتی‌متر تعیین شد. نتایج نشان داد که دامنهٔ وزن مصالح هر لایهٔ آرمور از 326 تا 543 گرم با توزیع یکنواخت 25% برای هر گروه بود. دامنهٔ وزن مصالح هر لایهٔ فیلتر نیز از $32/6$ تا $108/7$ گرم با توزیع 50% برای هر گروه بود. این دانه‌بندی‌ها برای بهینه‌سازی عملکرد سازه و افزایش پایداری در برابر نیروهای موجی انتخاب شدند. نتایج تحلیل تغییرات ریخت‌شناسی مقطع P6، نشان داد که سازه موج‌شکن پس از تابش امواج، از دیدگاه شکل و ترکیب لایه‌های آرمور دچار تغییرات قابل‌توجهی شد. تصویرهای مربوط به ریخت‌شناسی قبل و بعد از تابش موج نشان داد که تغییرات ساختار سطحی موج‌شکن در آزمون نهم، مهم بودند. تغییرات ریخت‌شناختی تأثیر زیادی بر پایداری و کارایی سازه در طول زمان دارد. در تحلیل پایداری لایهٔ آرمور از رابطهٔ موریسون به‌منظور بررسی نیروهای درگ، کشش

خستگی یا تحلیل رفتن مصالح قابل بررسی نباشند. با وجود استفاده از جاذب موج یا دیواره‌های شیب‌دار، بازتاب جزئی موج‌ها ممکن است نتایج را دستخوش تغییرات کند. از سوی دیگر، دقت تجهیزات اندازه‌گیری مانند سنسورهای موج، اندازه‌گیری‌کننده آب‌دهی یا ابزارهای مکان‌نگاری ممکن است محدود باشد و منجر به خطای اندازه‌گیری در برخی سنج‌ها شود. بر اساس نتایج این پژوهش، در راستای بهبود طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری سازه‌های ساحلی و بندری در مناطق مشابه و برای توسعه پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود از دانه‌بندی بهینه مصالح در لایه‌های آرمور و فیلتر استفاده شود. زیرا، این موضوع نقش مؤثری در افزایش پایداری موج‌شکن در برابر نیروهای موجی دارد. همچنین، پیشنهاد می‌شود در طراحی موج‌شکن‌های دیگر بنادر با شرایط آب‌پویایی مشابه، از بازه‌های دانه‌بندی ارائه‌شده در این پژوهش بهره‌برداری شود. از سوی دیگر، نتایج تحلیل نیروهای مؤثر بر قطعات آرمور نشان‌دهنده تأثیر بیشتر نیروهای درگ و کشش در مقایسه با نیروهای اینرسی بر پایداری بود. از این‌رو، در مدل‌سازی‌های آتی و طراحی دقیق‌تر سازه‌ها، تأکید بر تحلیل نیروهای درگ و کشش ضروری است و سبب ارتقای دقت در پیش‌بینی رفتار سازه می‌شود.

از سوی دیگر، به دلیل محدودیت‌های موجود در مقیاس آزمایشگاهی و اثرات پدیده‌های پیچیده‌ای همچون شکست موج، اندرکنش غیرخطی موج و سازه، و نیز شرایط محیطی حقیقی مانند باد، جریان‌های ساحلی، رسوب‌گذاری و فرسایش بستر، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های کامل‌تری انجام شود. در این راستا، انجام بررسی‌های عددی و میدانی در مقیاس‌های بزرگ‌تر یا حقیقی (پروتوتایپ) و نیز بررسی اثرات بلندمدت از جمله خستگی مصالح و تحلیل عملکرد در بازه‌های زمانی بلندمدت پیشنهاد می‌شود. افزون بر این، توسعه مدل‌های عددی مبتنی بر پویایی سیالات محاسباتی (CFD) و واسنجی آن‌ها با نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های فیزیکی، می‌تواند درک دقیق‌تری از رفتار سازه‌های محافظتی در برابر

و اینرسی وارد بر قطعه‌های آرمور، استفاده شد. نتایج نشان داد که نیروهای درگ و کشش به‌طور غالب بر نیروهای اینرسی تأثیرگذار بودند. برای ارزیابی پایداری لایه آرمور، از نسبت نیروهای درگ و کشش به نیروی گرانش (به‌عنوان معیاری برای ناپایداری) استفاده شد. این نسبت به‌شکل یک معیار کیفی برای پایداری لایه آرمور ارائه شد. رابطه‌ای برای پیش‌بینی پایداری لایه آرمور بر اساس مشخصات امواج و خصوصیات مصالح به‌دست آمد. در این رابطه، از سنج نسبت پایداری بر اساس بلندی موج و اندازه‌گیری‌های دانه‌بندی مصالح برای مقطع آرمور استفاده شد. نتایج نشان داد که برای اطمینان از پایداری لایه آرمور در برابر امواج با دوره بازگشت ۵۰ ساله، لازم است که نسبت پایداری از حد مشخصی تجاوز نکند، که این محدودیت به‌وسیله ضریب‌های تجربه‌شده و هم‌سنجی (کالیبراسیون) مدل‌های آزمایشگاهی تأیید شد. بر اساس نتایج این پژوهش استفاده از دانه‌بندی‌های دقیق و مناسب برای لایه‌های آرمور و فیلتر در مقیاس‌های مدل‌شده (۱:۲۰) سبب بهبود عملکرد و پایداری موج‌شکن‌ها خواهد شد. افزون بر این، مدل‌های استفاده‌شده در آزمایشگاه بیانگر اهمیت ارزیابی دقیق نیروهای وارد بر سازه و به‌ویژه نیروهای درگ و کشش در تحلیل پایداری موج‌شکن‌ها بودند. برخی از محدودیت‌های این پژوهش مقیاس مدل آزمایشگاهی بود. به‌رغم رعایت تشابه Froude، برخی پدیده‌های غیرخطی مانند شکست موج یا اندرکنش‌های پیچیده میان موج و سازه در مقیاس واقعی ممکن است متفاوت باشند. در نظر نگرفتن اثرات باد و جریان‌های ساحلی (مانند جزر و مد و جریان‌های ناشی از تغییر دما و شوری) بر رفتار آب‌پویایی سازه‌ها در شرایط واقعی تأثیرگذارند. محدودیت دیگر در نظر نگرفتن رسوب‌گذاری یا فرسایش بستر بود که در محیط واقعی نقش مهمی در پایداری سازه‌ها و تغییر شکل بستر دارند. همچنین، محدودیت نبودن امکان بررسی رفتار طولانی‌مدت سازه‌ها سبب می‌شود تا آزمایش‌ها معمولاً در بازه‌های زمانی کوتاه انجام شوند و اثرات بلندمدت مانند

دسترسی به داده‌ها

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

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، راهبری پژوهش، آماده‌سازی فلوم مدل فیزیکی، نگارش مقاله
نویسنده دوم: همکاری در راهبری پژوهش، حمایت مالی پژوهش

نویسنده سوم: مشاوره در اجرای پژوهش، بررسی صحت آزمایش‌ها
نویسنده چهارم: هماهنگی اجرای طرح، بررسی نتایج به‌دست آمده

نویسنده پنجم: پیاده‌سازی مدل فیزیکی، انجام آزمون‌ها و تحلیل نتایج و همکاری در نگارش مقاله

امواج فراهم آورد. همچنین، با توجه به اهمیت تغییرات ریخت‌شناسی و تأثیر آن بر کارایی سازه، پیشنهاد می‌شود تحلیل‌های آینده بر بررسی جامع‌تری از پایداری سازه در طول زمان، با در نظر گرفتن تأثیر عامل‌های محیطی، تمرکز داشته باشند. در طراحی سامانه‌های جاذب موج در آزمایشگاه‌ها، توجه به بازتاب جزئی موج‌ها و تأثیر آن بر نتایج اندازه‌گیری‌ها می‌تواند سبب افزایش دقت تحلیل‌ها شود.

تضاد منافع نویسندگان

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

فهرست منابع

- Arunjith A, Sannasiraj SA, Sundar V. 2013. Wave overtopping over crown walls and run-up on rubble mound breakwaters with Kolos armour under random waves. *International Journal of Ocean and Climate Systems*. 4(2): 125–132. <https://doi.org/10.1260/1759-3131.4.2.125>
- Ahrens JP, Ward DL. 1992. Overtopping rates for seawalls. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Report. (Publication title and pages to be confirmed).
- Bargi K. 2008. *Fundamentals of Marine Engineering*. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian).
- Bruce T, Van der Meer JW, Franco L, Pearson JM. 2009. Overtopping performance of different armor units for rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*. 56(2):166–179. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.07.015>
- Chegini V. 2008. *Manual of the design of breakwaters*. Tehran: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
- CIRIA. 2007. *The rock manual: The Use of Rock in Hydraulic Engineering*. C683. 36 p. London: CIRIA.
- Ghanbarian M. 2010. *The rubble mound breakwaters*. Tehran: Noah-Ghorb (Khatam-al-Anbia Construction Headquarters). (In Persian).
- Hudson RY. 1959. Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. *ASCE Transactions*. No. 3213. 25 p.
- Morison JR, O'Brien MP, Johnson JW, Schaaf SA. 1950. The force exerted by surface waves on piles. *Petroleum Transactions, American Institute of Mining Engineers*. 189(5): 149–154. <https://doi.org/10.2118/950149-G>
- Najafi Jilani A, Monshizadeh M. 2014. Laboratory investigations on wave run-up and transmission over breakwaters covered by Antifer unit. *Scientia Iranica, Transaction A: Civil Engineering*. 17(6): 457–470.
- Owen MW. 1980. Design of seawalls allowing for wave overtopping. *HR Wallingford Report EX-924*. 40 p.
- Power M., Bayram A, Salim A, Rosenstein PE. 2025. Design optimization of a rubble-mound breakwater using physical model test. *Ports*. 2025: 237-245.
- Ports and Maritime Organization. 2006. *Manual of the design of ports and maritime structures of Iran*. Tehran: PMO. No. 300–5. 414 p.
- Rute L, Maria ARL, João R, José AR. 2016. Photogrammetric analysis of rubble mound breakwaters scale model tests. *AIMS Environmental Science*. 3(3): 541-559.

Sorensen RM. 1993. Basic wave mechanics for coastal and ocean engineering. New York: John Wiley & Sons. 2nd ed., 304 p.

Troch P, De Rouck J, Burcharth HF. 2003. Experimental study and numerical modeling of wave induced pore pressure attenuation inside a rubble mound breakwater. In J. M. Smith (Ed.), Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering—Solving Coastal Conundrums. Singapore: World Scientific. Vol. 2, pp. 1607–1619.
https://doi.org/10.1142/9789812791306_0135

U.S. Army Corps of Engineers. 2005. Coastal engineering manual (CEM) (EM 1110-2-1100, Washington, D.C.: USACE. 6 vols. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.201>

Van der Meer JW. 1999. Conceptual design of rubble-mound breakwaters. In Advances in Coastal and Ocean Engineering. Singapore: World Scientific. Vol. 5, pp. 221–315.
https://doi.org/10.1142/9789812797582_0005

Wolter G, W. Allsop, Gironella X, Van Gent M 2007. Guidelines for physical model testing of breakwaters: Rubble mound breakwater. Delft Hydraulic, HydrolabIII. NA3.1: 39.



Stability of Genaveh Port Protection Structure against Northern Waves of the Persian Gulf

Mohammadreza Gharibreza^{1*} , Mehdi Nikokar² , Gitta Baradara Ebrahimi³
Arsalan Panahi⁴ , Ehsan Safa⁵

- 1- Associate Professor, River Engineering and Coastal Protection Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
- 2- Ph.D. Student and Head of the General Directorate of Ports and Coasts Engineering, Ports and Maritime Organization of Iran
- 3- Ph.D. Student and Deputy Director General of Coastal and Port Engineering, Ports and Maritime Organization of Iran
- 4- Ph.D. of Ports and Coasts Engineering, Ports and Maritime Organization of Iran
- 5- Ph.D. of Civil Engineering, Coasts, Ports and Marine Structures, Tabriz University, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Coastal areas in the foothills of coastal watersheds are important due to the presence of a considerable portion of the watershed's inhabitants, serving as a hub for of services and production between the inland parts of the country and abroad, as well as for sea-oriented activities. On the other hand, the coastal zone is affected by erosion and deformation due to the inherent lithology of rock units and coastal landforms, as well as the hydrodynamic conditions of waves. Therefore, sea-oriented activities are carried out under the shelter of protective structures, especially breakwaters. The aim of this research was to investigate the stability of rock mass coastal protection structures under the impact of waves from the northern Persian Gulf.

Materials and Methods

In classifying protective structures, two aspects are considered: structural characteristics and their constituent materials, and the arrangement and location of breakwaters. To achieve the goal of this research, the stability of a profile of the protective structure of the Genaveh Port with the highest impact surface of the breaking waves near the head of the breakwater with a specific wave pattern was tested using a modeling method in the wave simulation laboratory of the National Institute of Soil Conservation and Watershed Management. The port of Genaveh in the northern Persian Gulf is of great commercial and fishing importance.

Article Type: Research Article

***Corresponding Authors' E-mail:** gharibreza4@yahoo.com

Citation: Stability of Coastal Protection Structure in Genaveh Port under the Northern Persian Gulf Waves Condition. Watershed Management Research. 38(3): 16-39.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.367798.1604

Received: 09 April 2025, **Received in revised form:** 07 May 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No. 3, Ser. No: 148, Autumn 2025, pp. 16-39.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Given the challenges such as severe wave interference, coastal erosion, and poor performance of breakwaters against the prevailing waves in the region, it is necessary to more closely examine the stability of protective structures in this area. The breakwaters of this port play a vital role in the stability and safety of the port basin; therefore, analyzing their behavior under different hydrodynamic conditions using modeling in the wave-making flume can provide valuable consequences in optimizing the design and performance of these structures. In this study, the dimensions of the armor layer of the protective structure (breakwater) of the port of Genaveh were determined. The weight of the rock blocks was one of the influential metrics in selecting the most appropriate option for the armor. The important metrics in the design of the protective structure and rubble mound breakwater were divided into three categories: environmental metrics (related to waves), hydraulic metrics, and structural metrics. The damage to the armor layer (ha) was estimated by counting the number of displaced armor blocks or by measuring the eroded area of the armor layer in the transverse profile. The method of calculation the index was based on condition without displacement of armor blocks that were shaken individually or those that were displaced, individually, from their original location by a small and specific amount. The run-up (Ru) and rundown (Rd) levels of water on the slope of the structure are created in each wave impact. These levels are defined relative to the static level and are among the important design metrics. Modeling was implemented using a two-dimensional wave generator flume with a length of 33 m and a width of 5.5 m, with a water intake capacity of up to 1.5 m depth. The structural dimensions were scaled down to a scale of 1:20. The hydrodynamic conditions for the stability assessment of the selected profile included the JONSWAP irregular wave spectrum with a return period of 50 years, an effective wave height (H_s) of 2.7 m, and an amplitude of 6 seconds. This specification with a factor of 1.2 was also used to account for very critical conditions. These waves were radiated for 100 to 110 minutes, equivalent to 1500 breakwater, and in four conditions: high tide (sea tide with wind and wave surge), low tide, one-year return period, and 1.2 times of high tide on the selected profile (P6). The changes resulting from the impact of breakwater were investigated by taking before and after profile photographs using the image measurement method.

Results and Discussion

The results of the physical model to study the stability of the coastal protection structure designed for the northern wave conditions of the Persian Gulf showed that the height and slope design for the construction of Genaveh Port were acceptable. In other words, the design presented for the construction of the protection structure in the Genaveh region was reliable from both functional and structural perspectives. On the other hand, in this design, the armor layer of the protection structure was changed in the slope profile and partial settlement in the filter layer under very critical conditions. During tests related to high tide conditions, an mean of 88% of the observed run-up was at or below the design head of the structure. Displacement of armor layer pieces was also observed only at conditions equivalent to 1.2 times high water and to a very limited extent. Also, after 1300 waves of radiation, the filter layer gradually settled. These conditions were consistent with a 100-year wave return period. Therefore, it was necessary to redesign the structure with a higher height and heavier stone dimensions.

Conclusion and Suggestion

In this research, using the physical model of the Genaveh Port protective structure, the interaction of different wave conditions on the structure, especially the rock mass armor layer, was successfully measured, and stable conditions were predicted for implementation and cost reduction for the implementing agency (Ports and Maritime Organization, PMO). Therefore, in conditions where the breakwater are very critical and coincide with the highest astronomical tide level, the protective structure of Genaveh Port breaks. Therefore, it is recommended that the implementing agency prevent users from traveling along the breakwater and consider other protective measures. In addition, it is suggested that the method used in this study be used to optimize and develop protective structures in other similar coastal areas in the northern Persian Gulf.

Keywords: Coastal protection structure, rubble mound breakwater, stability of the structure, the northern Persian Gulf

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We express our sincere gratitude to Dr. Garshasbi, Dr. Davoodi, Mr. Pashootani, and Dr. Rahmani, members of the Technical Division of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, for their technical and logistical support, which significantly contributed to the success of our research project.

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

First Author: Conceptualization, research leadership, preparation of the physical model flume, writing of the article

Second Author: Collaboration in research leadership, financial support of the research

Third Author: Consulting in conducting the research, checking the accuracy of the experiments

Fourth Author: Coordinating the research procedures, checking the resultant data

Implementation of the physical model, conducting the tests and analyzing the results and

Fifth Author: collaboration in writing the article



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

پژوهش‌های آب‌نخرداری

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸



مراکز تحقیقات، آموزش، ترویج کشاورزی

شناسایی مناطق مستعد به خطر فرونشست و عامل‌های مؤثر بر آن با استفاده از مدل‌های GLM و Cforest در دشت کردی شیرازی

راضیه صیحانی‌پرشکوه^۱، حمید غلامی^{۲*}، یحیی اسماعیل‌پور^۳، علیرضا کمالی^۴، مریم زارع‌رشکوئیه^۵

۱- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیز (حفاظت آب و خاک) گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و

منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

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

۳- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۴- کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان، بندرعباس، ایران

۵- کارشناس شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

در طول چند دهه گذشته، فرونشست به یک معضل بزرگ در مقیاس جهانی تبدیل شده است. با توجه به افزایش این پدیده در کشور، پیش‌بینی و مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین و شناسایی مناطق مستعد فرونشست برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی آن ضروری است. با توجه به تهدیدها و آثار ویران‌گر فرونشست زمین بر منابع آب و خاک، مدیریت این پدیده و جلوگیری از گسترش آن موضوع مهمی در توسعه پایدار کشور به‌شمار می‌آید. بررسی فرونشست برای به‌دست آوردن بینش، شناسایی شکاف‌های پژوهشی، بهبود روش‌شناسی، و اطمینان از اینکه نتایج پژوهش‌های جدید به پایگاه دانش موجود کمک می‌کند، ضروری است. در این راستا، دشت کردی شیرازی به‌دلیل وجود ذخیره‌گاه جنگلی مورکردی، تنوع زیستی و همچنین جایگاه کشاورزی در آن، اهمیت زیادی دارد و با توجه به اینکه فرونشست در این منطقه در حال گسترش است، شناسایی مناطق مستعد خطر فرونشست برای مقابله با این پدیده و کاهش خسارت‌های ناشی از آن ضروری است.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: hgholami@hormozgan.ac.ir

استناد: صیحانی‌پرشکوه، ر.، غلامی، ح.، اسماعیل‌پور، ی.، کمالی، ع.ر.، زارع‌رشکوئیه، م. ۱۴۰۴. شناسایی مناطق مستعد به خطر فرونشست و عامل‌های مؤثر بر آن با استفاده از مدل‌های GLM و Cforest در دشت کردی شیرازی. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۳): ۴۰-۵۶.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2025.367937.1608

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۴۰ تا ۵۶.

© نویسندگان

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



هدف اصلی این پژوهش، توسعه یک مدل مکانی برای خطر فرونشست با استفاده از مدل یادگیری ماشین GLM در منطقه مطالعه شده بود. از این رو، در این پژوهش، برای اولین بار یک مدل یادگیری ماشین برای شناسایی مناطق مستعد به خطر فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی به کار گرفته شد. همچنین، سهم و اهمیت نسبی عامل های گوناگون مهارکننده فرونشست با استفاده از مدل یادگیری ماشین Cforest به شکل کمی تعیین شد.

مواد و روش ها

در این پژوهش برای تهیه نقشه خطر فرونشست زمین در منطقه مطالعه شده، ابتدا پایگاه داده های مربوط به عامل های مهارکننده این پدیده تهیه شد. در این راستا، نقشه موجود از فرونشست در منطقه با انجام بازدیدهای میدانی و جمع آوری داده های مربوط به بودن یا نبودن فرونشست در محیط ArcGIS تهیه شد. بعد از شناسایی مهم ترین عامل های مهارکننده فرونشست، رابطه میان متغیرهای مؤثر و نقاط فرونشست و بدون آن با مدل یادگیری ماشین GLM بررسی شد. خروجی مدل پیش بینی در پنج طبقه خطر فرونشست (۰ تا ۱) شامل خطر خیلی کم (۰/۲-)، کم (۰/۴-۰/۲)، متوسط (۰/۶-۰/۴)، زیاد (۰/۸-۰/۶) و خیلی زیاد (۱-۰/۸) طبقه بندی شد و به شکل نقشه خطر فرونشست ارائه شد. مدل یادگیری ماشین Cforest یکی از بهترین مدل ها برای تعیین اهمیت متغیرهای مهارکننده مخاطرات گوناگون به ویژه فرونشست است. اندازه کارایی این مدل در مقایسه با دیگر مدل ها بیشتر و خطای آن کمتر است. از این رو، از مدل Cforest برای تعیین اهمیت نسبی هر یک از عامل های مؤثر و مهارکننده این پدیده استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد مدل GLM در پیش بینی خطر فرونشست با استفاده از مساحت زیر منحنی راک، ارزیابی شد. مساحت زیر منحنی راک عدد ۰/۹۹ به دست آمد. این داده بیانگر عملکرد عالی مدل GLM در شناسایی نقاط فرونشست بود. بر اساس نتایج این مدل ۲۱۸۰ و ۴۴۱ هکتار از کل مساحت در طبقه های حساسیت فرونشست خیلی کم و کم بودند. از سوی دیگر، ۴۰۲، ۴۴۷ و ۱۱۱۳ هکتار از کل مساحت به ترتیب در طبقه های حساسیت فرونشست متوسط، زیاد و خیلی زیاد بودند. همچنین، ۲۴/۳٪ از کل منطقه مطالعه شده بسیار حساس به خطر فرونشست بودند. بخش های مرکزی منطقه با کاربری های کشاورزی و باغی و جنگل که در مجاورت زمین های زراعی و باغی بودند، آبخوان مشترک داشتند و خطر فرونشست زمین ها خیلی زیاد و زیاد بود. همچنین، بر پایه نتایج اهمیت نسبی متغیرها، سه متغیر اصلی شامل کاربری زمین، سطح آب زیرزمینی و افت آب زیرزمینی، از مهم ترین متغیرهای مهارکننده خطر فرونشست در منطقه مطالعه شده بودند. نتایج بررسی متغیرهای مهارکننده خطر فرونشست زمین برای اولین بار نشان داد که این پدیده می تواند تهدیدی جدی برای زمین های جنگلی به ویژه جنگل های مناطق خشک و نیمه خشک باشد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج به دست آمده حساسیت به خطر فرونشست زمین در بخش های مرکزی منطقه (کاربری های کشاورزی و باغی و کاربری جنگل در مجاورت زمین های زراعی و باغی)، خیلی زیاد و زیاد بود. نتایج بررسی متغیرهای مهارکننده خطر فرونشست در منطقه مطالعه شده نشان داد دلیل افزایش بهره برداری از آب های زیرزمینی، توسعه فعالیت های زراعی و باغی در دشت کردی شیرازی بود. از این رو، به منظور کاهش اثرات منفی فرونشست زمین، پیشنهاد می شود از انجام فعالیت هایی که سبب افزایش بهره برداری منابع آب زیرزمینی شده اند، جلوگیری شود. همچنین پیشنهاد می شود فعالیت های آبخیزداری (بخش سیلاب) در بالادست منطقه مطالعه شده به منظور تغذیه آبخوان منطقه انجام شود.

واژگان کلیدی

اهمیت نسبی، پیش بینی، کردی شیرازی، مدل سازی مکانی، یادگیری ماشین

مقدمه

فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پائین سطح زمین است که بردار جابجایی افقی آن اندک است (بیت و جکسون ۱۹۸۰). به دلیل ماهیت تدریجی فرونشست زمین، این پدیده را زلزله خاموش نیز می‌نامند. اثرات منفی آن در یک دوره بلندمدت ظاهر می‌شود و خطرات قابل توجهی به همراه دارد. با این حال، فرونشست زمین یک تهدید جدی در سراسر جهان است (سان و همکاران ۲۰۲۳). فرونشست، یک پدیده پیچیده زمین‌شناسی است که تحت تأثیر عامل‌های مختلفی مانند فرآیندهای طبیعی، فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی است. محققان با استفاده از نتایج بررسی‌ها می‌توانند به درک جامعی از دانش، نظریه‌ها و یافته‌های موجود در رابطه با فرونشست دست یابند (ساهو و راوات ۲۰۲۳). برداشت نامناسب آب زیرزمینی و عامل‌های زمین‌شناسی و گسل‌ها در رخداد فرونشست بسیار مؤثرند (تزامپوگلو و لوپاساکیس ۲۰۱۷). بسیاری از فرونشست‌های زمین در سطح دنیا به دلایل مختلفی مانند استخراج معادن، انحلال سنگ آهک، استخراج آب‌های زیرزمینی، گاز طبیعی و زلزله رخ داده است (فیاشی و همکاران ۲۰۱۷). در سرتاسر جهان، بیشترین فرونشست در مناطقی با بیشترین تقاضای آب و تراکم چاه‌های آب زیرزمینی رخ داده است (جین و همکاران ۲۰۱۹). در گذشته بیش از ۱۵۰ ناحیه در جهان شامل مکزیک، تایلند، چین، ایتالیا، ژاپن و آمریکا از این پدیده زیان دیده‌اند (ژو و اساکي ۲۰۰۳). اثرات فرونشست زمین به چهار دسته شامل زیرساخت (ترک خوردگی جاده‌ها و ساخت و سازها، شکستن خطوط لوله انرژی زیرزمینی و غیره)، اقتصادی (افزایش هزینه نگهداری زیرساخت‌ها، کاهش زمین، تأسیسات و ساختمان‌های متروکه)، زیست محیطی (انحراف رودها و سامانه‌های زهکشی، سیل پیاپی سواحل و کاهش کیفیت محیط زیست)، و اجتماعی (بدتر شدن وضعیت زندگی و اختلال در فعالیت‌های اجتماعی) تقسیم می‌شود (حسیبوان و همکاران ۲۰۲۳). به طور کلی انجام یک پژوهش موفق در

زمینه فرونشست زمین با ادغام چندین عامل مرتبط زیست محیطی همراه است (لی و پارک ۲۰۱۲). بنابراین، یک پایگاه داده‌های جغرافیایی در مدل‌سازی فرونشست زمین باید انواع مختلفی از اطلاعات موضوعی مانند عامل‌های زمین‌آب‌شناختی را در بر گیرد (پارک و همکاران ۲۰۱۲). با شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، اجرای اقدامات کاهشی و ترویج شیوه‌های مدیریت پایدار زمین، می‌توان اثرات نامطلوب فرونشست زمین را به حداقل رساند و از پایداری بلندمدت و تاب‌آوری مناطق آسیب‌دیده اطمینان پیدا کرد (ساهو و راوات ۲۰۲۳). کشور ایران با داشتن اقلیم خشک و نیمه‌خشک از یک سو و فشار بر منابع آب زیرزمینی برای توسعه کشاورزی از سوی دیگر، در شرایط پرشماری دچار فرونشست زمین شده است. عامل‌های ترکیبی چهار برابر شدن جمعیت کشور ایران در شش دهه گذشته، صنعتی شدن سریع و کشاورزی گسترده سبب فشار زیادی بر منابع آبی ایران شده است. برای برآورده ساختن تقاضاهای فزاینده، استخراج ناپایدار آب‌های زیرزمینی به یک موضوع عادی تبدیل شده است که منجر به یک مسیر دردرساز و از بین رفتن منابع می‌شود (مدنی و همکاران ۲۰۱۶). رخداد این پدیده در دشت‌های استان‌های مختلف کشور (مانند استان فارس، هرمزگان، خراسان، همدان، کرمان، چهارمحال بختیاری...) گزارش شده است. اکثر مناطق فرونشست در دشت‌های ممنوعه و ممنوعه بحرانی از نظر وضعیت سطح آب زیرزمینی رخ داده است (امیغی و عربی ۲۰۲۳). پژوهش‌های پرشماری در زمینه فرونشست در سطح دنیا انجام شده است. شیرانی و همکاران (۲۰۲۱) فرونشست زمین در دشت نجف‌آباد اصفهان را با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد دقت مکانی و کیفیت داده‌های راداری سنجنده پالسر در پردازش با روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری مناسب‌تر بود. در پژوهشی کیائو و همکاران (۲۰۲۴)، نقش فرونشست مناطق ساحلی را با استفاده از روش تداخل‌سنجی

مواد و روش ها

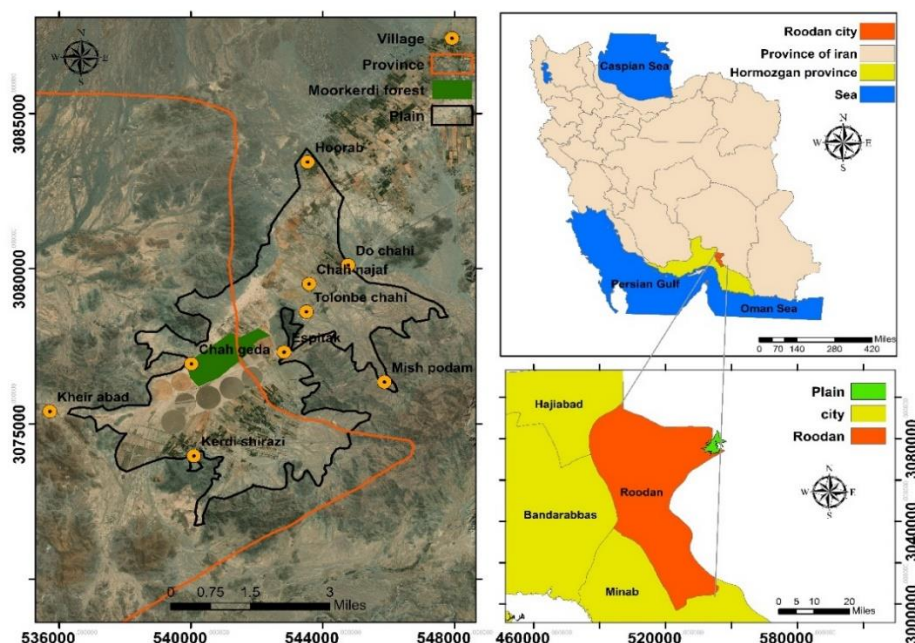
معرفی منطقه مطالعه شده

دشت کردی شیرازی در بخش رود از توابع شهرستان رودان و در درون آبخیز نازدشت در شمال شرقی استان هرمزگان با مساحت ۴۵۸۳/۸۷۲ هکتار و میان ۵۷°۲۱'۰۶" تا ۵۷°۲۹'۰۶" طول شرقی و ۲۷°۰۹'۴۶" تا ۲۷°۵۲'۴۲" عرض شمالی است. این دشت یکی از دشت های حاصلخیز برای کشاورزی در استان هرمزگان است. این دشت ممنوعه و بدون چشمه و رود دائمی است و بهره برداری از منابع آبی متکی بر آبخوان آزاد و آبرفتی کردی شیرازی است. در سال های گذشته توسعه کشاورزی سبب برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی شده است. همچنین، خشک سالی های کنونی و پایین رفتن سطح ایستابی نیز این وضعیت را تشدید کرده است. آثار فرونشست در منطقه آشکار و قابل مشاهده است. اقلیم منطقه مطالعه شده بر اساس روش آمبرژه و دومارتن به ترتیب بیابانی گرم شدید و خشک بیابانی گرم است. میانگین بارندگی سالانه ۱۹۲/۲ میلی متر و میانگین دمای سالانه ۲۵/۵ درجه سانتی گراد است. اندازه میانگین رطوبت نسبی بر اساس ایستگاه همدید کهنوج ۳۹٪ است و بیشترین رطوبت نسبی منطقه مطالعه شده مربوط به آذر، دی و بهمن ماه و کمترین آن مربوط به فروردین، اردیبهشت و خرداد ماه است. میانگین سالانه سرعت باد در این ایستگاه حدود ۶/۱ نات است. از دیدگاه زمینشناسی دشت کردی شیرازی در بخش غربی زون مکران است و بخشی از مجموعه بچگان به شمار می آید و بخشی از یک توالی گسترده سنگ های دگرگونی با منشأ رسوبی یا آذرین است. تشکیلات و واحدهای موجود در منطقه مطالعه شده، از قدیم به جدید شامل سنگ ها و رخساره های رسوبی متعلق به پالئوزوئیک تا کواترنر است. وضعیت گونه جنگلی منطقه از دیدگاه بوم گردی و طبیعت گردی یک ذخیره گاه جنگلی حفاظت شده با نام مورکردی است که از اواسط بهمن ماه تا اواسط فروردین ماه پذیرای گردشگران بومی و دیگر گردشگران است. ذخیره گاه جنگلی مورکردی در دشت کردی شیرازی شامل

راداری و یادگیری ماشین تفسیر کردند و از ۹ ویژگی بالقوه شامل تغییرات طبیعی زمین تا فعالیت های انسانی برای مدل سازی VLM استفاده کردند. این ویژگی ها برای آموزش مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی (RF) استفاده شد. سو و همکاران (۲۰۲۴)، افزایش قابلیت های پیش بینی فرونشست زمین را با استفاده از یادگیری ماشین و تحلیل ارزش SHAP با داده های تداخل سنجی راداری سنتینل ۱، بررسی کردند و به این منظور از شبکه های عصبی و اندازه های SHAP برای پیش بینی فرونشست زمین استفاده کردند. رحمانی و همکاران (۲۰۲۴)، از یک مدل یادگیری عمیق قابل تفسیر برای رسم خطر فرونشست استفاده کردند. آنها برای تفسیرپذیری خروجی مدل یادگیری عمیق (DL)، به منظور رسم حساسیت زمین به خطر فرونشست از روش های مختلف استفاده کردند. با بررسی نتایج پژوهش های پیشین محققان می توانند شکاف های دانش و زمینه هایی را که نیاز به بررسی بیشتر دارند را شناسایی کنند. همچنین محققان قادر خواهند بود تا روش ها و مدل های به کار گرفته شده در پژوهش های پیشین را ارزیابی کنند. افزون بر این، می توان با شناسایی هرگونه محدودیت یا چالشی که محققان پیشین با آن مواجه بودند، امکان بهبود و نوآوری در پژوهش های آتی را فراهم کرد. از سوی دیگر، برای پژوهشگران فرصتی فراهم می شود تا روندها و الگوهای پژوهش های نوظهور فرونشست را در طول زمان تجزیه و تحلیل کنند (ساهو و راوات، ۲۰۲۳). این پژوهش در دشت کردی شیرازی در آبخیز نازدشت با یک ذخیره گاه جنگلی از گونه های بومی کنار و کهور اجرا شد. هدف این پژوهش، شناسایی عامل های مهارکننده خطر فرونشست و تهیه نقشه آن با داده های اندک خطر فرونشست بود. در این راستا، از مدل GLM به دلیل قابلیت زیاد در مدل سازی پدیده های مکانی استفاده شد. یکی از نوآوری های مهم در این پژوهش، تولید و تهیه پایگاه داده با قدرت تفکیک پذیری زیاد (با مدل طبقات ارتفاعی ۱۰ متر) در منطقه ای با داده های اندک، بود.

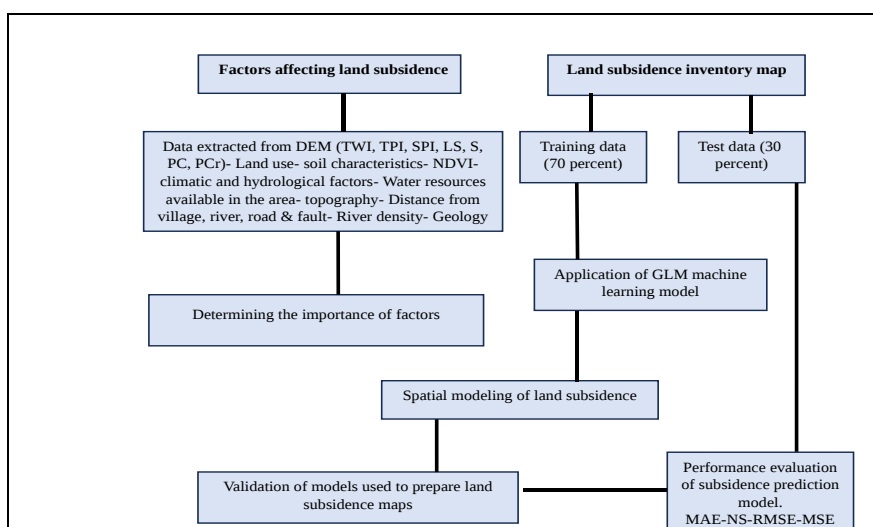
موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده در استان هرمزگان و ایران و روندنمای پژوهش به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

گونه‌های درختی کهور ایرانی و کنار است. در سال‌های گذشته آثار فرونشست زمین در درون جنگل و زمین‌های کشاورزی پیرامون آن مشاهده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده در استان هرمزگان و ایران.

Figure 1- Geographical location of the study area in the Hormozgan Province and Iran.



شکل ۲- روندنمای پژوهش.

Figure 2- Research flowchart.

داده های لازم

داده های تهیه شده شامل: ۱- گروه داده های به دست آمده از نقشه DEM (شامل شاخص رطوبت پستی بلندی، شاخص موقعیت پستی بلندی، شاخص قدرت آبراهه، شاخص طول شیب، نقشه شیب، نقشه انحناء، نقشه انحنای سطح، نقشه انحناء نیم رخ)، ۲- داده های به دست آمده از تصاویر ماهواره ای (شامل شاخص NDVI)، ۳- داده های اقلیمی ۴- داده های

منابع آب موجود در منطقه (شامل فاصله از چاه های بهره برداری، سطح آب زیرزمینی، افت سالانه آب زیرزمینی)، ۵- نقشه ها و داده های به دست آمده از نقشه ها (شامل زمین شناسی، کاربری زمین و پوشش گیاهی، آبراهه ها، فاصله از رود، تراکم رود، فاصله از آبادی و مناطق مسکونی، فاصله از جاده ها و راه ها، فاصله از گسل) بودند.

جدول ۱- تهیه پایگاه داده برای منطقه مطالعه شده.

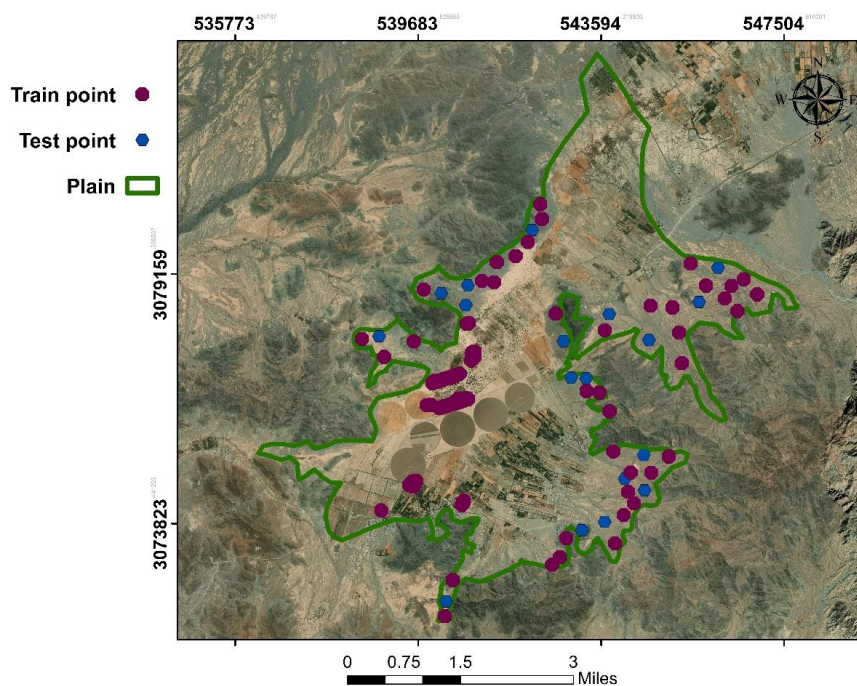
Table 1- Database preparation for the studied area.

data type	Variable	Spatial accuracy and scale	Source of supply
Data extracted from DEM	Topographic Humidity Index (TWI)	10 meters	The writers
	Topographic Position Index (TPI)		
	Waterway Strength Index (SPI)		
	Slope Length Index (LS)		
	Slope Map (S)		
	Curvature map		
	Plan Curvature Map (PC)		
Data extracted from satellite images	Profile curvature map (PCr)	10 meters	Download from the site www.EarthExplorer.usgs.gov
	NDVI index		
Climate data	precipitation	10 meters	Download from the site www.worldclim.org
Water resources available in the area	Distance from pumping wells	10 meters	The writers
	Groundwater level		
	groundwater drawdown		
	Distance from the river		
Data extracted from maps	River density	10 meters	The writers
	Distance from settlements and residential areas		
	Distance from roads and paths		
	Distance from the fault		
	Geology	1/250000	Geological Organization
	land use	1/25000	Natural Resources and Watershed Organization
	Vegetation	1/100000	

نقشه نقاط فرونشست زمین

تهیه نقشه نقاط فرونشست یکی از گام های مهم در مدل سازی مکانی فرونشست است. از این رو، تمام پهنه منطقه بازدید و پایش شد. همچنین، تمام نقاطی که فرونشست داشتند و یا در حال شروع رخداد فرونشست بودند با GPS برداشت شدند. سپس، این نقاط به عنوان نقاط موجودی وارد GIS شدند. به منظور ساخت مدل های پیش بینی خطر فرونشست، باید رابطه ای میان متغیرها و موجودی فرونشست ایجاد می شد. از این رو، نقشه نقاط فرونشست، به وسیله بازدیدهای میدانی از ۴۵۷ نقطه (شامل نقاط با فرونشست و بدون فرونشست) در سطح آبخیز نازدشت که دشت کردی شیرازی در آن است، تهیه شد. سپس، ۷۰٪ نقاط (۳۲۰ نقطه) در مرحله آموزش و ۳۰٪ آنها (۱۳۷ نقطه) در مرحله ارزیابی و آزمایش مدل استفاده شد.

تهیه نقشه نقاط فرونشست یکی از گام های مهم در مدل سازی مکانی فرونشست است. از این رو، تمام پهنه منطقه بازدید و پایش شد. همچنین، تمام نقاطی که فرونشست داشتند و یا در حال شروع رخداد فرونشست بودند با GPS برداشت شدند. سپس، این نقاط به عنوان نقاط موجودی وارد GIS شدند. به منظور ساخت مدل های پیش بینی خطر فرونشست، باید رابطه ای میان متغیرها و موجودی فرونشست



شکل ۳- نقشه نقاط فرونشست زمین.

Figure 3- Map of subsidence inventory.



شکل ۴- نمونه‌هایی از فرونشست مشاهده شده در منطقه مطالعه شده.

Figure 4- Examples of LS observed in the studied area.

Y : بردار مشاهده $N \times 1$ ، ϵ : بردار $N \times 1$ خطاها، X : ماتریس $N \times M$ ، θ : بردار $M \times 1$ متغیرهایی است که مشاهده‌های Y را بیان می‌کنند، است. با یک اندازه‌گیری بیشینه احتمال مبتنی بر فرض گوسیانیته، θ با استفاده از رابطه ۲ برآورد می‌شود (گوریز و همکاران ۲۰۲۲).

$$\hat{\theta} = (X^T C_{\epsilon}^{-1} X)^{-1} X^T C_{\epsilon}^{-1} y \quad (2)$$

C_{ϵ} : ماتریس کوواریانس خطا است.

ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی فرونشست

به‌منظور ارزیابی عملکرد دقت مدل GLM در پیش‌بینی خطر فرونشست زمین از AUC^۲ یا مساحت زیر منحنی راک^۳ استفاده شد. منحنی راک^۴ یک نمودار گرافیکی و یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی است که می‌تواند مبنایی برای مقایسه و بررسی عملکرد هر مدل طبقه‌بندی باشد. این منحنی نشان می‌دهد که یک مدل طبقه‌بندی چقدر می‌تواند به‌طور مؤثر میان طبقه‌های مختلف تمایز ایجاد کند. یعنی مساحت زیر منحنی راک، یک معیار عددی میان صفر تا یک است که عملکرد کلی یک مدل را ارزیابی می‌کند و نشان‌دهنده دقت و توانایی تفکیک‌پذیری مدل است. منحنی راک با رسم نسبت نرخ مثبت صحیح TPR^۵ برابر نرخ مثبت کاذب FPR^۶ ایجاد می‌شود. در این منحنی TPR روی محور عمودی به‌عنوان حساسیت^۷ و نشان‌دهنده نسبت موردهای مثبت است که به‌درستی شناسایی شده‌اند و FPR به‌عنوان احتمال دریافت خطای کاذب روی محور افقی به‌عنوان ویژگی^۸ است. هر چه منحنی راک بالاتر از خط نیم‌ساز باشد در این ناحیه نقاطی هستند که اندازه حساسیت یا نرخ مثبت صحیح آن‌ها نسبت به نرخ مثبت کاذب بیشتر است و عملکرد روش به‌کارگرفته شده مناسب‌تر

مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)^۱

GLM یک مدل توسعه‌یافته از وایازی خطی است که به‌وسیله آن می‌توان مجموعه داده‌های خطی و غیرخطی را برای تجزیه و تحلیل وایازی مدیریت کرد. GLM یک مدل ساده است که به‌طور گسترده برای اهداف پیش‌بینی در زمینه‌های زیست محیطی استفاده می‌شود (مالیک و همکاران ۲۰۲۳). در این مدل از وایازی چندمتغیره برای توضیح متغیرهای شرطی به‌عنوان تابعی از وجود یا نبودن متغیرهای فرونشست زمین استفاده می‌شود (مطلق و همکاران ۲۰۲۳). این مدل برای تهیه یک چهارچوب وایازی برای توزیع‌های ناپهنجار ارائه‌شده است (پین ۲۰۱۲). این مدل از سه بخش شامل (۱) توزیع احتمال برای متغیرهای پاسخ، (۲) پیش‌بینی‌کننده خطی و (۳) تابع ارتباطی برای برقراری ارتباط میان پیش‌بینی‌کننده خطی و میانگین توزیع عملکرد، تشکیل‌شده است (نیکیتا ۲۰۱۴). متغیرها در مدل GLM ممکن است پیوسته، گسسته و یا ترکیبی از هر دو باشند. GLM یک نوع وایازی لجستیک را برای طبقه‌بندی اهداف باینری و وایازی خطی در راستای اهداف پیوسته، پیاده‌سازی می‌کند. طبقه‌بندی GLM از مرزهای اعتماد برای احتمالات پیش‌بینی پشتیبانی می‌کند. GLM یک مدل سنج‌های از بسط مدل‌های خطی است. در مدل خطی تعمیم‌یافته فرمول ارائه می‌شود. سپس، رابطه میان متغیرهای تبیینی و پاسخ به‌وسیله سنج برآوردشده وایازی به اضافه فاصله‌های اطمینان سنجش می‌شود. مدل‌های خطی تعمیم‌یافته برای شرایطی که مشاهده‌ها به‌شکل بهنجار توزیع‌نیافته بودند و زمانی که دیگر روش‌های مدل وایازی مناسب نبودند، ابداع شدند. عملکرد این مدل در میان روش‌های مدل‌سازی خوب است. برای یک سطح مشاهده منفرد، GLM به‌شکل رابطه ۱ است (فریستون و همکاران ۲۰۰۲).

$$y = X\theta + \epsilon \quad (1)$$

2 Area Under the Curve

3 Receiver Operating Characteristics

4 ROC Curve

5 True Positive Rate

6 False Positive Rate

7 Sensitivity

8 Specificity

1 Generalized Linear Models

بستگی دارد. درخت تصمیم روش کارآمدی برای انواع مختلفی از وظایف یادگیری ماشین به‌شمار می‌آید (هاستی و همکاران ۲۰۰۹).

نتایج و بحث

نقشه خطر فرونشست با استفاده از مدل GLM
نقشه پیش‌بینی خطر فرونشست زمین در منطقه مطالعه‌شده با استفاده از مدل GLM تهیه شد و در پنج طبقه خطر فرونشست (۰ تا ۱) شامل خطر خیلی کم (۰-۰/۲)، کم (۰/۲-۰/۴)، متوسط (۰/۴-۰/۶) و زیاد (۰/۶-۰/۸) و خیلی زیاد (۰/۸-۱) طبقه‌بندی شد و به‌شکل نقشه خطر فرونشست ارائه شد.

بر پایه نتایج این پژوهش، طبقه‌های خطر فرونشست متوسط تا خیلی زیاد در منطقه مطالعه‌شده مربوط به بخش‌های مرکزی آبخیز بود. این یافته نشان‌دهنده حساسیت زیاد زمین‌های کشاورزی، باغی و جنگل به خطر فرونشست بود. همچنین، حساسیت بخش‌های شرقی و غربی منطقه به خطر فرونشست خیلی کم بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مدل ۲۱۸۰ و ۴۴۱ هکتار از کل مساحت در طبقه‌های حساسیت فرونشست بسیار کم و کم بودند. در حالی که ۴۰۲، ۴۴۷ و ۱۱۱۳ هکتار از کل مساحت به‌ترتیب در طبقه‌های حساسیت فرونشست متوسط، زیاد و بسیار زیاد بودند. همچنین، حساسیت ۲۴/۳٪ از کل منطقه مطالعه‌شده به خطر فرونشست بسیار زیاد بود.

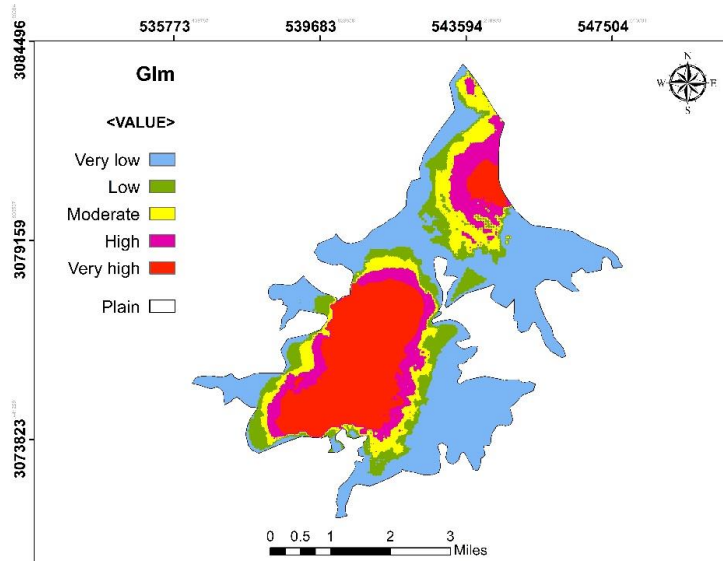
است. از سوی دیگر، نتایج روش برای استفاده مد نظر مطمئن‌تر خواهد بود. هنگامی که منحنی راک روی خط نیم‌ساز باشد، عملکرد روش به‌کارگرفته شده مناسب نیست و نتایج این روش مطمئن نخواهد بود. هنگامی که منحنی راک زیر خط نیم‌ساز باشد، عملکرد روش بسیار نامناسب است و نتایج این روش مطمئن نخواهد بود. به‌طور کلی، عملکرد یک مدل با داشتن AUC نزدیک به ۱ در شناسایی و تفکیک پذیری طبقه‌ها عالی است. در حالی که AUC نزدیک به صفر نشان‌دهنده عملکرد ضعیف و ناتوان بودن مدل در تفکیک طبقه‌ها است. اگر اندازه AUC برابر با ۰/۵ باشد، یعنی مدل هیچ‌گونه قابلیت جداسازی میان طبقه‌ها را ندارد و عملکرد آن به‌طور تصادفی است.

تعیین سهم عامل‌ها با استفاده از مدل جنگل تصادفی شرطی^۹

مدل Cforest یک نسخه به‌روز شده از مدل جنگل تصادفی است. این مدل مجموعه‌ای از درختان مختلف است (هورتن و همکاران ۲۰۰۶). در این مدل، درخت بر اساس نمونه‌ای از بوت استرپ ساخته می‌شود (شیا ۲۰۰۹). افزون بر این، در این مدل از Ctree به جای درختان طبقه‌بندی و وایازی (CART) استفاده می‌شود. در طول زمان برازش Ctree، توزیع شرطی میان ویژگی‌های پاسخ و پیش‌بینی اندازه‌گیری‌شده است (عرب‌عامری ب ۲۰۲۱). مدل Cforest یک روش یادگیری ترکیبی برای دسته‌بندی و وایازی است که بر اساس ساختاری متشکل از شمار بسیاری درخت تصمیم، روی زمان آموزش و خروجی طبقه‌ها (طبقه‌بندی) یا برای پیش‌بینی‌های هر درخت به‌شکل مجزا، کار می‌کند. جنگل‌های تصادفی برای درختان تصمیم که در مجموعه آموزشی دچار بیش‌برازش می‌شوند، مناسب هستند.

عملکرد جنگل تصادفی معمولاً بهتر از درخت تصمیم است، اما این بهبود عملکرد تا حدی به نوع داده هم

⁹ Conditional Random Forests (Cforest)



شکل ۵- نقشه خطر فرونشست زمین پیش‌بینی شده با استفاده از مدل GLM.
Figure 5- Land subsidence hazard map predicted by the GLM model.

راک در جدول ۲ نشان داده شده است. عدد ۰/۹۹ بیانگر عملکرد عالی مدل در شناسایی نقاط فرونشست بود.

کارایی مدل پیش‌بینی خطر فرونشست GLM عملکرد مدل GLM برای پیش‌بینی خطر فرونشست با استفاده از مساحت زیر منحنی ROC ارزیابی شد. اندازه عددی AUC و یا همان مساحت زیر منحنی

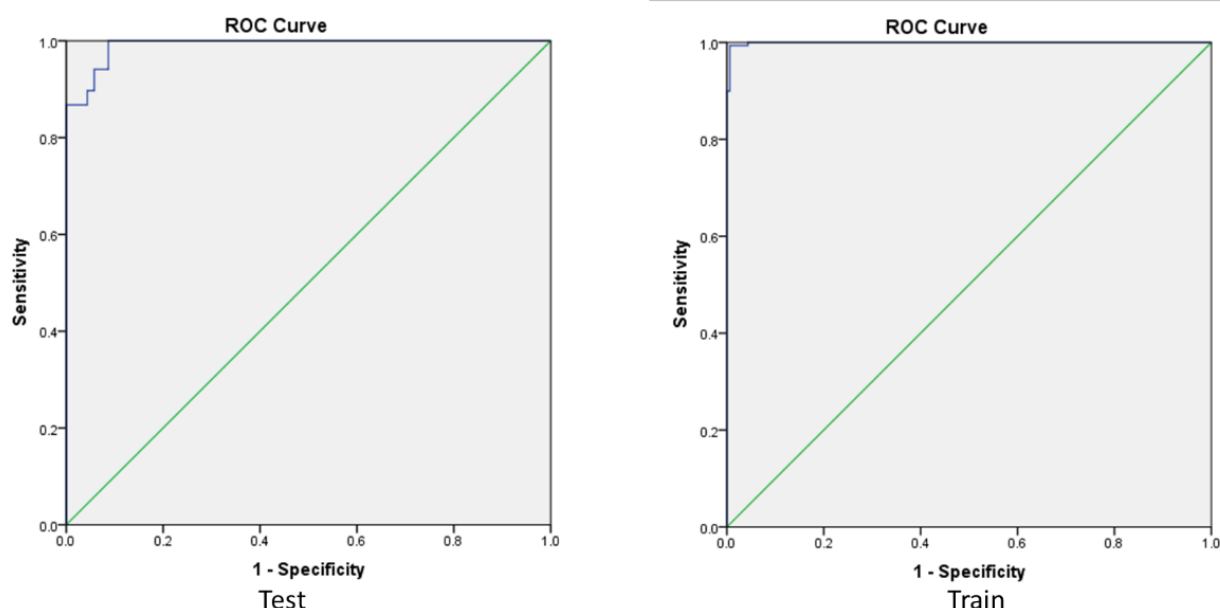
جدول ۲- نتایج مساحت زیر منحنی.

Table 2- Results of the Area Under the Curve.

Data	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Test	0.999	0.001	0.000	0.998	1.000
Train	0.991	0.005	0.000	0.982	1.000

a. Under the nonparametric assumption

b. Null hypothesis: true area = 0.5



شکل ۶- منحنی ROC.

Figure 6- ROC curve.

نتایج این پژوهش برای اولین بار نشان داد که خطر فرونشست تهدیدی جدی برای زمین‌های جنگلی به‌ویژه جنگل‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این منطقه، افزون بر وجود یک ذخیره‌گاه جنگلی با نام مورکردی که مساحتی حدود ۱۹۹/۷۸ هکتار از دشت را در بر می‌گیرد، کاربری غالب در منطقه زمین‌های کشاورزی و باغی بود. همچنین، مشاهده شد که رابطه میان خطر فرونشست و پوشش گیاهی مستقیم بود. به‌شکلی که اغلب نقاط فرونشست در سطح جنگل رخ داده است و با افزایش پوشش گیاهی خطر فرونشست زمین نیز افزایش یافته است. این یافته تأییدکننده نقش نوع کاربری زمین بر خطر فرونشست بود. بیشترین اندازه NDVI مربوط به کاربری‌های کشاورزی، زراعی و ذخیره‌گاه جنگلی بود. این یافته بیانگر بیشترین تخلیه آب زیرزمینی به‌وسیله چاه‌های بهره‌برداری در این کاربری‌ها بود. این موضوع تهدیدی جدی برای فرونشست زمین در منطقه است. همچنین، مسدود شدن یکی از آبراهه‌های اصلی تغذیه کننده دشت در گذشته باعث شده تا ورودی آبخوان به‌ویژه در دو دهه گذشته به دلیل افزایش خشک‌سالی

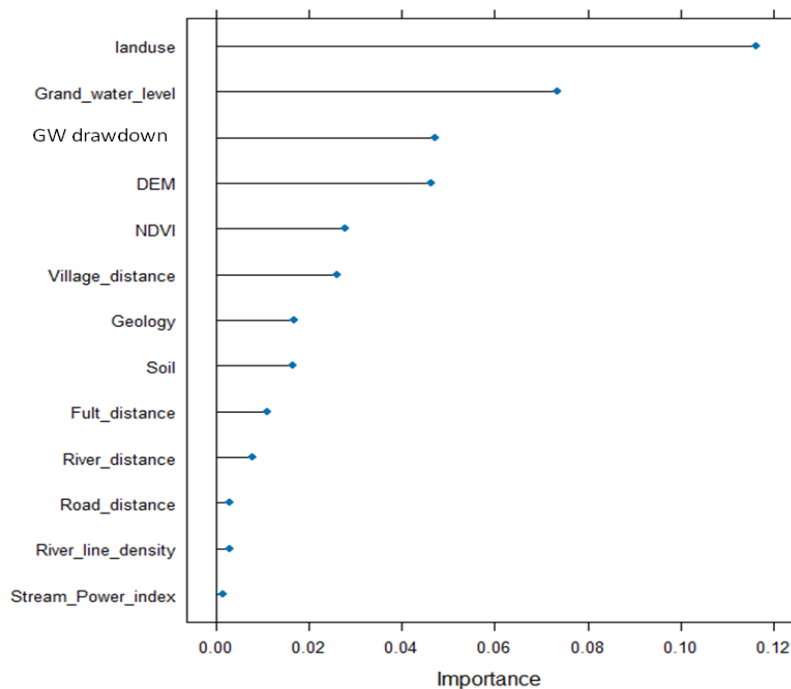
اهمیت نسبی متغیرهای مهارکننده خطر فرونشست

زمین با مدل Cforest

معیار انتخاب بهترین مدل در تعیین اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر بر خطر فرونشست زمین، اندازه‌های خطا و کارایی است. بر این اساس مدلی انتخاب می‌شود که خطای کمتری داشته باشد. در این پژوهش، برای تعیین اهمیت نسبی از مدل به‌روز شده جنگل تصادفی Cforest که یکی از بهترین مدل‌ها برای تعیین اهمیت متغیرهای مهارکننده مخاطره‌های مختلف به‌ویژه فرونشست است، استفاده شد. همچنین، دلیل دیگر استفاده این مدل اندازه کارایی بیشتر و خطای کمتری آن در مقایسه با دیگر مدل‌ها بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مدل، سه متغیر کاربری زمین، سطح آب زیرزمینی و افت آب زیرزمینی به‌ترتیب مهم‌ترین متغیرها بودند. تراکم رود و شاخص SPI نیز کم اهمیت‌ترین متغیرهای مؤثر بر خطر فرونشست در منطقه مطالعه شده بودند.

بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در منطقه شده فرونشست در محدوده جنگل شده است. همچنین، نشانه‌هایی از رخداد این پدیده در محدوده زمین‌های کشاورزی و باغی مشاهده شد.

به‌شدت کاهش یابد. افزون بر این، تغییر کاربری زمین‌های مرتعی به کشاورزی و باغی منجر به افزایش است. از آنجایی که آبخوان ذخیره‌گاه جنگلی با دیگر کاربری‌های منطقه مشترک بود و شکل شیب آبخوان باعث شده بود که سطح آب زیرزمینی در محدوده جنگل به‌شدت کاهش یابد و سرانجام منجر به رخداد



شکل ۷- اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر بر خطر فرونشست با استفاده از مدل Cforest.

Figure 7- The relative importance of variables affecting subsidence risk using the Cforest model.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

لازم و ضروری است. در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی و تعیین نقاط مستعد به خطر فرونشست و شناسایی عامل‌های مؤثر بر این پدیده در دشت کردی شیرازی انجام شد تا نتایج آن در راستای کاهش پیامدهای این پدیده به‌وسیله بخش‌های مرتبط بهره‌برداری شود. ابتدا پایگاه داده از متغیرهای مؤثر بر خطر فرونشست زمین به‌منظور تهیه نقشه در منطقه مطالعه شده، تهیه شد. همچنین، نقشه موجودی فرونشست با بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری داده‌های مربوط به بودن یا نبودن فرونشست در محیط آرکمپ تهیه شد. بعد از شناسایی مهم‌ترین عامل‌های مهارکننده فرونشست، رابطه میان متغیرهای مؤثر و

در سال‌های گذشته، خطر فرونشست زمین در دنیا و ایران به‌ویژه استان هرمزگان افزایش یافته است. آثار و پیامدهای این پدیده ویران‌گر در برخی از نقاط استان هرمزگان مانند دشت میناب به‌شدت قابل مشاهده است. از این‌رو، برای اینکه دیگر دشت‌های استان که منابع مهمی برای تولید غذا هستند به این مخاطره مبتلا نشوند و از آنجایی که در دو دهه گذشته آثار فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی که یکی از دشت‌های مهم استان هرمزگان از دیدگاه کشاورزی و باغداری و یک ذخیره‌گاه جنگلی مورک‌رودی است، مشاهده شده است، توجه جدی مسئولان در راستای کاهش پیامدهای ویران‌گر این پدیده در این منطقه

نصب کنتورهای هوشمند، آب‌دهی خروجی از چاه‌های موجود پایش و محدود شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از بازدید میدانی به‌وسیله گروه پژوهشگران این پژوهش مشخص شد که در زمین‌های مرتعی پیرامون جنگل مورکردی که یک ذخیره‌گاه حیاتی برای گونه‌های کهور ایرانی و کنار است، به‌وسیله برخی از سودجویان دخل و تصرف غیرقانونی انجام شده است و حتی در برخی نقاط زبانه‌هایی از زمین‌های کشاورزی با آب شرب به داخل ذخیره‌گاه جنگلی کشیده شده است که در شرایط تداوم این دخل و تصرف‌ها، خطر فرونشست در ذخیره‌گاه جنگلی در آینده نزدیک افزایش خواهد یافت و گونه‌های چندین ساله و بعضاً چند صد ساله از بین خواهند رفت.

نکته مهم و تأثیرگذار بر افزایش خطر فرونشست منطقه مطالعه شده، انحراف و مسدود شدن یکی از شاخه‌های اصلی رود تغذیه‌کننده دشت کردی شیرازی در مجاورت روستای زیارت‌علی که از حدود پنج دهه پیش تا کنون است. دلیل آن نجات زمین‌های کشاورزی و حفاظت از مناطق مسکونی و روستاهای این منطقه در برابر سیلاب به‌وسیله سیل‌بند و برای تغییر مسیر سیلاب است. به این دلیل در دو دهه گذشته با انحراف این رود، از آبخوان دشت کردی شیرازی در خشک‌سالی به‌شدت بهره‌برداری شده و جریان ورودی به آن به‌شدت کاهش یافته است و در نتیجه موجب افت شدید آبخوان شده است. این موضوع یکی از دلایل اصلی افزایش فرونشست در منطقه مطالعه شده بود. از این رو، به دلیل نابودی کامل این رود و نبودن امکان احیاء دوباره آن در محدوده روستای زیارت‌علی، پیشنهاد می‌شود در بالادست روستای زیارت‌علی و آبخیز نازدشت، عملیات آبخیزداری (پخش سیلاب) به‌منظور تغذیه آبخوان کردی شیرازی انجام شود. همچنین، به دلیل وجود گونه‌های شورپسند خودرو در منطقه و ظرفیت زیاد برای استقرار این گونه‌ها، پیشنهاد می‌شود از گونه‌هایی مانند اشنان و دیگر گونه‌های بومی برای تثبیت و مهار فرونشست استفاده شود. از سوی دیگر، پیشنهاد می‌شود از تمرکز زه‌آب‌های کشاورزی در

نقاط بودن یا نبودن فرونشست به‌وسیله مدل یادگیری ماشین GLM بررسی شد. خروجی مدل پیش‌بینی در ۵ طبقه خطر فرونشست شامل خطر خیلی کم ($0/2$ - 0)، کم ($0/2$ - $0/4$)، متوسط ($0/4$ - $0/6$)، زیاد ($0/6$ - $0/8$) و خیلی زیاد ($0/8$ - 1) طبقه‌بندی شد و به‌شکل نقشه خطر فرونشست ارائه شد. عملکرد مدل GLM برای پیش‌بینی خطر فرونشست با استفاده مساحت زیر منحنی ROC ارزیابی شد. اندازه عددی AUC و یا همان مساحت زیر منحنی راک عدد $0/99$ به‌دست آمد که بیانگر عملکرد عالی مدل GLM در شناسایی نقاط فرونشست بود و مدل پیش‌بینی GLM مدلی با کارایی زیاد شناخته شد که می‌توان در راستای فعالیت‌های اجرایی به‌منظور کاهش پیامدهای منفی این مخاطره از آن بهره‌برداری کرد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مدل، حساسیت به خطر فرونشست زمین در بخش‌های مرکزی منطقه (کاربری‌های کشاورزی و باغی و کاربری جنگل در مجاورت زمین‌های زراعی و باغی)، خیلی زیاد و زیاد بود. بر اساس نتایج اهمیت نسبی در منطقه مطالعه شده، مهم‌ترین متغیرهای مهارکننده خطر فرونشست زمین، سه متغیر اصلی شامل کاربری زمین، سطح آب زیرزمینی و افت آب زیرزمینی بودند. کاربری زمین به‌عنوان با اهمیت‌ترین متغیر معرفی شد و دلیل آن تخلیه آبخوان برای تقویت کاربری کشاورزی و باغی بود. از آنجایی که مدل پیش‌بینی GLM نشان داد که رخداد پدیده فرونشست در کاربری‌های کشاورزی و باغی (طبقه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد) پیوسته است می‌توان به نقش مهم انسان به‌عنوان بهره‌بردار از منابع آب زیرزمینی در راستای افزایش سطح زیر کشت زمین‌های کشاورزی و باغی و افزایش خطر فرونشست زمین اشاره کرد. از این رو، پیشنهاد می‌شود بر بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده نظارت بیشتری شود و از هر گونه ارائه جواز حفر و کف‌شکنی چاه‌های موجود خودداری شود. زیرا، در شرایط تداوم این موضوع این مخاطره افزایش و کیفیت آب زیرزمینی به‌شدت کاهش خواهد یافت. همچنین پیشنهاد می‌شود با

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: نرم‌افزار، پژوهش، تحلیل داده‌ها، نگارش
نویسنده دوم: تحلیل داده‌ها، نگارش، نظارت، تحلیل،
مفهوم‌سازی، مدیر طرح
نویسنده سوم: انجام پژوهش، نظارت
نویسنده چهارم: انجام پژوهش
نویسنده پنجم: انجام پژوهش

منطقه به‌ویژه در پیرامون جنگل مورکردی جلوگیری شود. زیرا، تمرکز آب باعث افزایش پدیده انحلال و در نتیجه افزایش پدیده فرونشست در منطقه مطالعه‌شده می‌شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از متغیرهای مهم دیگر (مانند شیب آبخوان، جهت جریان آب زیرزمینی و غیره) که بر فرونشست منطقه اثرگذارند در گام مدل‌سازی استفاده شود.

سیاس‌گذاری

از دانشگاه هرمزگان برای حمایت در اجرای این پژوهش تشکر می‌شود.

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

Amighpey M, Arabi S. 2023. Study of land subsidence status due to uncontrolled groundwater extraction in Iran using comprehensive subsidence map of the country. *Iranian Water Resources Research*.19(5):145-156.
<https://doi.org/10.22034/iwrr.2023.186215>
Arabameri A, Rezaie F, Pal SC, Cerda A, Saha A, Chakraborty R, Lee S. 2021. Modelling of piping collapses and gully headcut landforms: Evaluating topographic variables from different types of DEM. *Geoscience Frontiers*. 12(6): 101230.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101230>
Bates RL, Jackson JA. 1980. *Glossary of Geology* (Second edition): Falls Church, Virginia. American Geological Institute. 749 p.
Fiaschi S, Tessitore S, Boni R, Di Martire D, Achilli V, Borgstrom S, Calcaterra D. 2017. From ERS-1/2 to Sentinel-1: Two decades of subsidence monitored through A-DInSAR techniques in the Ravenna area (Italy). *GIScience and Remote Sensing*. 54(3): 305-328.
<https://doi.org/10.1080/15481603.2016.1269404>
Friston KJ, Penny W, Phillips C, Kiebel S, Hinton G, Ashburner J. 2002. Classical and Bayesian inference in neuroimaging: theory. *Neuro Image*. 16(2): 465-483.
<https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1090>

Gorritz JM, Martín-Clemente R, Puntónet CG, Ortiz A, Ramirez J, Suckling J. 2022. A hypothesis-driven method based on machine learning for neuroimaging data analysis. *Neurocomputing*. 510:159-171.
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.09.001>
Hasibuan HS, Tambunan RP, Rukmana D, Permana CT, Elizandri BN, Putra GAY, Ristya Y. 2023. Policymaking and the spatial characteristics of land subsidence in North Jakarta. *City and Environment Interactions*. Volume 18, April 2023, 100103.
<https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100103>
Hastie T, Tibshirani R, Friedman J, Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. 2009. *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction*, Random forests. Springer Series in Statistics. pp. 587-604.
Hothorn T, Hornik K, Zeileis A. 2006. Unbiased recursive partitioning: A conditional inference framework. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 15(3): 651-674.
<https://doi.org/10.1198/106186006X133933>
Jeanne P, Farr Tom G, Rutqvist J, Vasco D. 2019. Role of agricultural activity on land subsidence in the San Joaquin Valley, California. *Journal of Hydrology*. 569: 462-469.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.077>
Lee S, Park I, Choi JK. 2012. Spatial prediction of ground subsidence susceptibility

- using an artificial neural network. *Environmental Management*. 49 (2): 347-358. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9766-5>
- Madani K, AghaKouchak A, Mirchi A. 2016. Iran's socio-economic drought: Challenges of a water-bankrupt nation. *Iranian Studies*. 49(6): 997-1016. <https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286>
- Mallik S, Das S, Chakraborty A, Mishra U, Talukdar S, Bera S, Ramana GV. 2023. Prediction of non-carcinogenic health risk using Hybrid Monte Carlo-machine learning approach. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 29(3-4): 777-800. DOI:10.1080/10807039.2023.2188417
- Motlagh ZK, Derakhshani R, Sayadi MH. 2023. Groundwater vulnerability assessment in central Iran: Integration of GIS-based DRASTIC model and a machine learning approach. *Groundwater for Sustainable Development*. 23(1):101037. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101037>
- Nikita E. 2014. The use of generalized linear models and generalized estimating equations in bioarchaeological studies. *American Journal of Physical Anthropology*. 153(3):473-483. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22448>
- Park I, Choi J, Lee MJ, Lee S. 2012. Application of an adaptive neuro-fuzzy inference system to ground subsidence hazard mapping. *Computers and Geosciences*. 48: 228-238. DOI:10.1016/j.cageo.2012.01.005
- Qiao X, Chu T, Krell E, Tissot P, Holland S, Ahmed M, Smilovsky D. 2024. Interpretation and attribution of coastal land subsidence: An InSAR and Machine Learning Perspective. *Institute of Electrical and Electronics Engineers. Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 17: 4768-4783 <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3361391>
- Rahmani P, Gholami H, Golzari S. 2024. An interpretable deep learning model to map land subsidence hazard. *Environmental Science and Pollution Research*. pp.1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32280-7>
- Sahu SR, Rawat KS. 2023. Analysis of land subsidence in coastal and urban areas by using various techniques-Literature Review. *Indonesian Journal of Geography*. 55(3): <https://doi.org/10.22146/ijg.83675>
- Shirani K, Pasandi M, Ebrahimi B. 2021. Assessment of land subsidence in the Najafabad Plain of Isfahan using differential radar interferometry (DInSAR) technique. *Journal of Water and Soil Science*. 25 (1): 105-127. <https://doi.org/10.47176/jwss.25.1.147214>
- Su H, Xu T, Xion X, Tian A. 2024. Enhancement of land subsidence prediction capabilities using machine learning and SHAP value analysis with Sentinel-1 InSAR Data. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3926697/v1>
- Sun M, Du Y, Liu Q, Feng G, Peng X, Liao C. 2023. Understanding the Spatial-Temporal Characteristics of Land Subsidence in Shenzhen under Rapid Urbanization Based on MT-InSAR. *Institute of Electrical and Electronics Engineers, Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 16:4153-4166. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3264652>
- Tzampoglou P, Loupasakis C. 2017. Updated ground water piezometry data of the Amyntaio Sub-Basin and their effect to the manifestation of the Land Subsidence Phenomena. 11th International Hydrogeological Congress of Greece, Athens, Greece. pp. 4-6.
- Waltham AC. 1989. *Ground subsidence*. Chapman and Hall, New York. 202 p.
- Xia R. 2009. Comparison of random forests and Cforest: variable importance measures and prediction accuracies. *Utah State University, DigitalCommons@USU*. <https://doi.org/10.26076/74bd-59e1>



Identification of Areas Prone to Subsidence Risk and Factors affecting it Using GLM and Cforest Models in the Kerdi Shirazi Plain

Razieh Seihani Parashkouh^{1*}, Hamid Gholami², Yahya Esmaeilpour³, Alireza Kamali⁴, Maryam Zare Rashkoueh⁴

1- Ph.D. graduated in Watershed Science and Engineering (Water and Soil Protection), Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

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

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

4- Expert, Department of Natural Resources and Watershed Management of Hormozgan Province, Bandar Abbas, Iran

5- Expert, Department of Regional Water Company of Hormozgan Province, Bandar Abbas, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Over the past few decades, subsidence has become a major problem on a global scale. Given the increase in this phenomenon in the country, predicting and spatial modeling of land subsidence and identifying areas prone to subsidence are essential to reduce the negative effects of this environmental impacts. Given the threats and destructive effects of land subsidence on water and soil resources, managing this phenomenon and prevent its spread is a key issue in the sustainable development of the country. Subsidence studies is essential to gain insight, identify research gaps, improve methodology, and ensure that new research contributes to the existing knowledge base. In this regard, the Kerdi Shirazi Plain is of great importance due to the presence of the Mourkerdi Forest Reserve, its biodiversity, and its agricultural status, and given that subsidence is expanding in this region, identifying areas prone to subsidence risk is essential to combat this phenomenon and reduce the damages caused by it. The main objective of this study was to develop a spatial model for subsidence risk using GLM machine learning model in the studied area. Therefore, in this study, for the first time, a machine learning model is used to identify areas prone to land subsidence risk in the Kerdi Shirazi Plain. Also, the contribution and relative importance of various factors controlling subsidence were quantitatively determined using the Cforest machine model.

Article Type: Research Article

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

Citation: Seihani Parashkouh, R., Gholami, H., Esmaeilpour, Y., Kamali, A.R., Zare Rashkoueh, M. 2025. Identification of Areas Prone to Subsidence Risk and Factors Affecting it Using GLM and Cforest Models in the Kerdi Shirazi Plain. *Watershed Management Research*. 38(3): 40-56.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.367937.1608

Received: 15 December 2024, **Received in revised form:** 24 January 2025, **Accepted:** 18 March 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No.3, Ser. No: 148, Autumn 2025, pp. 40-56.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Materials and Methods

In this study, to prepare a land subsidence risk map in the study area, a database related to the factors controlling this phenomenon was first prepared. In this regard, the existing map of subsidence in the area were prepared by conducting field visits and collection data related to the presence or absence of subsidence in the ArcGIS software. After identifying the most important factors controlling subsidence, the relationship between the effective variables and subsidence points with and without it was examined using the GLM machine learning model. The output of the prediction model (values 0 to 1) was classified into five subsidence risk classes including very low risk (0 - 0.2), low (0.2 - 0.4), moderate (0.4 - 0.6), high (0.6 - 0.8) and very high (0.8 - 1) and presented as a subsidence risk map. The Cforest machine models is the best model for determining the importance of variables controlling various hazards, especially subsidence. The efficiency of this model is higher and its less error is lower compared to other models. Therefore, the Cforest model was used to determine the relative importance of each of the effective and restraining factors of this phenomenon.

Results and Discussion

The performance of the GLM model in predicting subsidence risk was evaluated using the area under the AUC curve. The area under the ROC curve, was found to be 0.99. This data indicates the excellent performance of the GLM model in identifying subsidence points. Based on the results of this model, 2180 and 441 hectares of the total area were in the very low and low subsidence sensitivity classes. On the other hand, 402, 447 and 1113 hectares of the total area were in the moderate, high and very high subsidence sensitivity classes, respectively. Also, 24.3% of the total study area has a very high susceptibility to subsidence risk. The central parts of the region with agricultural, horticultural and forest uses adjacent to agricultural and horticultural lands, share a common aquifer, and the risk of land subsidence was very high. Also, according to the results of the relative importance of variables, three main variables, including land use, groundwater level, and groundwater drawdown were among the most important variables controlling subsidence risk in the study area. The results of this study of variables controlling the risk of land subsidence showed for the first time that this phenomenon can be a serious threat to forest lands, especially forests in arid and semi-arid regions.

Conclusion and Suggestions

Based on the results obtained, the sensitivity to land subsidence risk in the central parts of the region (agricultural and horticultural uses and forest use in the vicinity of agricultural and horticultural lands) was very high and high. The results of the study of variables controlling the risk of subsidence in the studied area showed that the reason for the increase in groundwater exploitation was the development of agricultural and horticultural activities in the Kerdi Shirazi plain. Therefore, in order to reduce the negative effects of land subsidence, it is recommended to prevent activities that increase the exploitation of groundwater resources. It is also suggested that watershed management activities (flood spreading) be carried out upstream of the studied area in order to recharge the regional aquifer.

Keywords: Kerdi shirazi, machine learning, prediction, relative importance, spatial modeling

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The authors would like to thank the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran, for supporting this research 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

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

Authors' Contribution

First Author: Software, research, data analysis, writing

Second Author: Data analysis, writing, supervision, analysis, conceptualization, project manager

Third Author: Conducting the research, supervision

Fourth Author: Conducting the research



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌بخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مراکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

سنجش تاب‌آوری اجتماعی - فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب با استفاده از روش TOPSIS

امین صالح‌پور جم^{۱*}، نورالدین رستمی^۲، شکوفه عبدالی^۳، جمال مصفائی^۴

۱ و ۴- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

در دهه‌های گذشته، توسعه‌ای ناپایدار، سبب ظهور و بروز انواع بحران‌ها و خسارت‌های جانی، اجتماعی، اقتصادی و مخاطرات زیست محیطی در گستره آبخیزهای کشور شده است. به‌ویژه، رخداد سیل از جمله پدیده‌هایی است که تحت تأثیر این توسعه ناپایدار و اثرات تغییر اقلیم، در دهه‌های پیشین در مناطق شهری و روستایی کشور به‌شدت افزایش یافته است. بر این اساس، سنجش ابعاد گوناگون تاب‌آوری جوامع شهری و روستایی در معرض خطر سیلاب و نیز شناسایی راهبردهای افزایش تاب‌آوری در برابر سیل، گام مهمی برای مدیریت این پدیده به‌ویژه در فرایند مدیریت جامع آبخیز است. در این پژوهش، توان نسبی و مطلق تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی جوامع محلی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب‌شناختی آبخیز سنگ‌سفید با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه TOPSIS، سنجش شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، نخست شاخص‌های سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی، با استفاده از پژوهش کتابخانه‌ای و نتایج دیگر پژوهش‌ها، مصاحبه با کارشناسان و نیز بازدیدهای میدانی و مصاحبه با ساکنان، شناسایی شد. سپس، برای تعیین کمیت شاخص‌های سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی در وضعیت کنونی منطقه، از روش کدگذاری چند پاسخی، استفاده شد. متغیرهای استفاده‌شده در پرسش‌نامه از نوع متغیرهای ترتیبی کیفی و منطبق با طیف لیکرت (خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵)) در نظر گرفته شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: aminpourjam@yahoo.com

استناد: صالح‌پور جم، ا.، رستمی، ن.، عبدالی، ش.، مصفائی، ج.، ۱۴۰۴. سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب با استفاده از روش TOPSIS. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۳): ۷۷-۵۷.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368104.1610

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۵۷ تا ۷۷.

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

© نویسندگان



سپس، از ساکنان منطقه پس از سنجش روایی و پایایی پرسش‌نامه، نظرسنجی شد. در این راستا، روایی ابزار اندازه‌گیری به‌وسیله گروه خبرگان تأیید شد. همچنین، از روش آلفای کرونباخ برای محاسبه اندازه پایایی یا قابلیت اعتماد ابزار اندازه‌گیری، استفاده شد. در این پژوهش، واحد نمونه، خانوار روستایی بود و برای محاسبه حجم نمونه از رابطه کوکران و بر اساس تعداد خانوار روستایی موجود در هر واحد آب‌شناختی استفاده شد. سرانجام، توان نسبی و مطلق تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی جامعه‌های محلی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب‌شناختی آبخیز سنگ‌سفید سنجش شد و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه TOPSIS، با و بدون دخالت دادن دو گزینه فرضی در قالب کمینه و بیشینه اندازه‌های توان تاب‌آوری (به‌ترتیب با اندازه‌های متوسط ۱ و ۵ مرتبط با کلیه شاخص‌ها در واحدها) تعیین شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، ۱۱ شاخص به‌عنوان گویه‌های اصلی سنجش تاب‌آوری محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب شناسایی شد. همچنین، حجم نمونه با استفاده از رابطه کوکران تعداد ۶۶۳ نمونه به‌دست آمد. افزون بر این، اندازه آلفای کرونباخ ۰/۸۳۲ محاسبه شد که بیانگر اندازه پایایی خوب ابزار اندازه‌گیری بود. نتایج نشان داد با اهمیت‌ترین بی‌اهمیت‌ترین شاخص در سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی در مقایسه با دیگر شاخص‌ها از دیدگاه کارشناسان به‌ترتیب مربوط به شاخص‌های V_1 (اندازه مسئولیت‌پذیری و مشارکت افراد محلی) و V_4 (شناخت ساکنان جامعه محلی از یکدیگر) بود. همچنین، پنج شاخص مهم دیگر به‌ترتیب شامل شاخص‌های V_1 و V_6 (سطح دانش جامعه محلی در ارتباط با سیل و اقدامات لازم)، V_9 (اندازه حس دلبستگی ساکنان به منطقه)، V_{11} (اندازه اعتماد جامعه محلی به سیاست‌ها و برنامه‌های مسئولان) و V_8 (اندازه اعتماد جامعه محلی به خدمت‌رسانی عادلانه نهادهای متولی در هنگام بحران و پس از آن) بودند. همچنین، نتایج نشان داد که دامنه اندازه‌های نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی به‌ترتیب از ۰/۸۰ تا ۵/۲۰ و ۱/۹۸ تا ۵/۹۰ متغیر بود. افزون بر این، دامنه اندازه‌های نمایه TOPSIS از ۰/۲۸ تا ۰/۸۸ تغییر کرد. دامنه گسترده نمایه TOPSIS، نشان‌دهنده وجود واحدهای با توان متفاوت تاب‌آوری در برابر سیلاب در منطقه پژوهش‌شده بود. در این راستا، نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین اندازه تاب‌آوری در برابر سیلاب (اندازه‌های R_i) مربوط به واحدهای S-int2 و S9 به‌ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۸۸ بود. همچنین، در محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای انتخاب‌شده آب‌شناختی، توان تاب‌آوری ۶۶۶۹/۴ هکتار (۷۳/۴۱٪) متوسط، ۷۳۲/۵ هکتار (۸/۰۶٪) زیاد و ۱۶۸۲/۷ هکتار (۱۸/۵۲٪) خیلی‌زیاد بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش بیانگر اهمیت متفاوت میان ۱۱ شاخص شناسایی‌شده در سنجش تاب‌آوری بود. نتایج سنجش توان تاب‌آوری محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب‌شناختی آبخیز سنگ‌سفید، بیانگر وجود انواع واحدها با توان تاب‌آوری متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد در آبخیز پژوهش‌شده بود. بر اساس نتایج این پژوهش، برای افزایش توان تاب‌آوری واحدها، به‌ویژه با کاربست روش‌های ساختاربندی مسئله استفاده از برنامه‌های SWOT و DPSIR، پیشنهاد می‌شود. افزون بر این، استفاده از نتایج این پژوهش و انواع فنون تعیین اهمیت یا وزن‌های شاخص‌ها در ترکیب با دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، برای پژوهش‌های آتی سنجش توان تاب‌آوری پیشنهاد می‌شود. زمان‌بر بودن نظرسنجی از ساکنان آبخیز، یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعات در این پژوهش بود.

واژگان کلیدی

توان تاب‌آوری، تصمیم‌گیری چند شاخصه، جامعه محلی، راه‌حل ایده‌آل، ماتریس تصمیم

مقدمه

در دهه‌های گذشته، توسعه ناپایدار، سبب‌ساز ظهور و بروز انواع بحران‌ها و مخاطره‌های زیست‌محیطی و نیز ناترازی‌ها، به‌ویژه در آبخیزهای آب و انرژی، در گستره آبخیزهای کشور شده است (صالح‌پورجم و همکاران ۲۰۲۱، مصفایی و همکاران ۲۰۲۱، به‌بیان‌دیگر، توسعه ناپایدار با کاهش سلامت آبخیز، منجر به بروز و تشدید انواع مخاطره‌های محیطی مانند سیل، ویرانی زمین و بیابان‌زایی، فرونشست زمین، زمین‌لغزش و پدیده گرد و غبار در کشور شده است (صالحی و کرباسی ۲۰۲۱، سلیمان‌پور و همکاران ۲۰۲۳). به‌طور ویژه، رخداد سیل ازجمله پدیده‌هایی است که به‌دلیل توسعه ناپایدار و دخالت‌های انسانی (بلواسی و همکاران ۲۰۲۰) یا اثرات تغییر اقلیم (ایرانی و همکاران ۲۰۲۴)، در دهه‌های گذشته در مناطق شهری و روستایی کشور تشدید شده است (عطاران و همکاران ۲۰۲۲، قدبیگی و همکاران ۲۰۲۴). سیل منجر به بروز انواع خسارت‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در گستره آبخیزهای کشور شده است (باران‌پور و همکاران ۲۰۲۱، فرودی صفات و همکاران ۲۰۲۴). در این راستا، می‌توان به خسارت‌های سیل تیرماه ۱۳۹۴ در آبخیز کن و سیجان در استان تهران (رنجبر و مرادی ۲۰۲۰)، سیل فروردین‌ماه ۱۳۹۸ لرستان (درودی و سپهری‌فر ۲۰۱۹) و سیل سال ۱۳۹۸ استان گلستان (رجبی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰) اشاره کرد. پاریزی و حسینی (۲۰۲۲) با استفاده از تحلیل فراوانی سیلاب ۱۰۰ ساله در آبخیزهای کشور گزارش کردند که بیشترین آب‌دهی اوج ۱۰۰ ساله در میان ۲۰۶ آبخیز پژوهش‌شده، مربوط به آبخیزهای جنوب‌غربی، جنوبی و جنوب‌شرقی ایران با آب‌دهی اوج بیش از ۴۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه، بود. بر این اساس، برنامه‌ریزی برای سنجش توان سیل‌خیزی آبخیزها (خورشیدی و همکاران ۲۰۲۱)، سنجش انواع تاب‌آوری جامعه‌های شهری و روستایی در معرض خطر سیلاب (ابدالی و همکاران ۲۰۲۴) و نیز شناسایی علت‌های ایجاد سیل و تعیین راهبردهای

افزایش تاب‌آوری در برابر سیل (زیاری و همکاران ۲۰۲۰)، گام اصولی برای مدیریت سیل به‌ویژه در فرایند مدیریت جامع آبخیز است (مصفایی و همکاران ۲۰۱۹). اصطلاح تاب‌آوری^۱ برای اولین بار در علم فیزیک با تأکید بر توانایی یک سامانه در بازیابی از استرس واردشده به‌آن، مطرح شد (کائو و همکاران ۲۰۲۳). سپس، این اصطلاح به‌وسیله زیست‌شناس کانادایی به نام هالینگ (۱۹۷۳) برای توصیف ویژگی‌های یک بوم‌نظام پایدار در علم بوم‌شناسی به‌کار برده شد. با گذشت زمان، تاب‌آوری در بسیاری از زمینه‌ها برای انواع مناطق شهری و روستایی و بوم‌نظام‌ها در مواجهه با انواع مخاطره‌های طبیعی، مانند تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب (آقالو و همکاران ۲۰۲۴)، خشک‌سالی (ترمه و همکاران ۲۰۲۴)، زلزله (پاریزی و همکاران ۲۰۲۲) و یا تاب‌آوری محیط‌های روستایی در برابر سیل (دوا و همکاران ۲۰۲۳)، خشک‌سالی (موانزا و همکاران ۲۰۲۴)، زمین‌لغزش (ناکیلزا و همکاران ۲۰۱۷) و زلزله (ژانگ و همکاران ۲۰۲۲) مطرح شد. بر این اساس، تاکنون با توجه به موضوع مد نظر تعاریف گوناگونی از تاب‌آوری ارائه‌شده است (پراشار و همکاران ۲۰۲۳، مصباح و همکاران ۲۰۲۴). در یک تعریف کلی، تاب‌آوری، افزایش توانایی یک سامانه برای پیش‌بینی، جذب یا بازیابی در برابر یک شوک و سازگاری موفقیت‌آمیز با چنین شرایطی، برای بهبود و امنیت سامانه در آینده است (کاتر ۲۰۱۶). به‌بیان دیگر، تاب‌آوری، توانایی سامانه‌ها برای جذب و بازیابی از تأثیر رویدادهای ویران‌گر، بدون تغییرات اساسی در عملکرد یا ساختار آن‌ها است (پروگ ۲۰۱۴). در ارتباط با موضوع سیل، مفهوم تاب‌آوری به‌ویژه در ارتباط با تاب‌آوری محیط‌های شهری در برابر سیل تعریف شده است (پراشار و همکاران ۲۰۲۳). تاب‌آوری شهری در برابر سیل به‌عنوان ظرفیت شرایط طبیعی، ساختار اقتصادی، توسعه اجتماعی و زیرساخت‌های یک شهر برای انطباق با سیل و بهبود شرایط، تحت

^۱ Resilience

استقرار سریع منابع، تعریف می شود (کائو و همکاران ۲۰۲۳).

سه چارچوب مفهومی گوناگون تاب آوری، مشتمل بر تاب آوری مهندسی، بوم شناختی و اجتماعی- بوم شناختی در چارچوب مدیریت خطر سیل ارائه و چارچوب بندی شده اند (زونبرگن و همکاران ۲۰۲۰). این در حالی است که تاب آوری اجتماعی- بوم شناختی به دلیل تعاملات میان انسان و طبیعت و ماهیت پیچیده میان آن ها همواره بدون قطعیت بوده است و دارای بیشترین پیچیدگی سامانه های است (فلک ۲۰۰۶). بر این اساس، نیازمند رویکرد تطبیقی به دلیل نیاز به بازخوردهای کوتاه و بلندمدت اقدامات تاب آورانه خویش است (صالح پورجم و مصفايي ۲۰۲۳، کائو و همکاران ۲۰۲۳).

سنجش اندازه تاب آوری در برابر انواع مخاطره های طبیعی، نقش مهمی در کاهش اثرات مربوطه دارد (کلین و همکاران ۲۰۰۳). در این راستا، انواع مختلفی از تاب آوری مشتمل بر تاب آوری اجتماعی- فرهنگی، اقتصادی، مدیریتی- نهادی و کالبدی قابل سنجش و اندازه گیری است (مصباح و همکاران ۲۰۲۴). در این پژوهش، سنجش تاب آوری اجتماعی- فرهنگی مد نظر بود. تاب آوری اجتماعی، توانایی جامعه ها برای تحمل فشارهای خارجی برای حفظ زیرساخت های اجتماعی خود است (آجر ۲۰۰۰). همچنین، ابريست و همکاران (۲۰۱۰) تاب آوری اجتماعی را به عنوان ظرفیت بازیگران برای دسترسی به سرمایه ها، نه فقط برای مقابله و تطبیق با شرایط نامطلوب (ظرفیت واکنشی)، بلکه به منظور جستجو و ایجاد گزینه ها (ظرفیت پیشگیرانه) و در نتیجه افزایش شایستگی (پیامدهای مثبت) در مواجهه با تهدید تعریف می کنند. معمولاً سنجش تاب آوری بر اساس تعیین شاخص های مربوطه، نظرسنجی با طیف لیکرت (گونزالز کوئینترو و اوپلا فوکت ۲۰۱۹) و انجام انواع آزمون های آماری مانند تحلیل پراکنش یک طرفه، انجام می شود (ناهد و همکاران ۲۰۲۱). در این راستا، ناهید و همکاران (۲۰۲۱) و افسری و شهریاری (۲۰۲۳) توان تاب آوری اجتماعی- فرهنگی نواحی شهری در معرض سیلاب در

استان تهران را با کاربرد آزمون تحلیل پراکنش یک طرفه برای اولویت بندی تاب آوری این نواحی در برابر سیلاب سنجش کردند. نتایج نشان دهنده تفاوت معنی دار میان توان تاب آوری نواحی مختلف شهری بود. همچنین، رانا و همکاران (۲۰۲۱) نیز از آزمون تحلیل پراکنش یک طرفه برای اولویت بندی توان تاب آوری در برابر سیلاب سه منطقه شهری در پاکستان استفاده کردند. همچنین، تلفیق شاخص ها مبتنی بر فنون تصمیم گیری چند شاخصه نیز در سنجش تاب آوری اجتماعی قابل استفاده است (ساجا و همکاران ۲۰۲۰، میائو و همکاران ۲۰۲۴). در این راستا، مبروک و هائوئینگ (۲۰۲۳) تاب آوری شهری به منظور شناسایی مناطق پرخطر شهری در معرض سیلاب با کاربرد روش های تصمیم گیری چند شاخصه ارزیابی کردند. نتایج نشان دهنده وجود نواحی گوناگون با توان متفاوت خطر در برابر سیلاب در شهر اسکندریه مصر بود. از آنجایی که تاب آوری اجتماعی- فرهنگی محیط های روستایی در معرض خطر سیل، پس از شناسایی شاخص های مربوطه، مبتنی بر پرسش نامه با طیف لیکرت به عنوان ابزار اصلی اندازه گیری سنجش معرفی می شود، از این رو، می توان از روش های آماری برای اولویت بندی و گروه بندی محیط های روستایی استفاده کرد (ناهد و همکاران ۲۰۲۱). این در حالی است که برخلاف روش های آماری که فقط از اندازه های شاخص های به دست آمده در هر واحد برای اولویت بندی محیط های روستایی استفاده می شود، در روش های تصمیم گیری چند شاخصه، افزون بر این اندازه ها، از اهمیت شاخص ها نیز در اولویت بندی واحدها استفاده می شود. این ویژگی امکان تعیین توان تاب آوری را برای محیط های روستایی فراهم می کند (میائو و همکاران ۲۰۲۴). در این راستا، در این پژوهش، از روش TOPSIS که از روش های تصمیم گیری چند شاخصه است و در اولویت بندی و تعیین توان رخدادها پرکاربرد است، استفاده شد (پاندی و همکاران ۲۰۲۳). یکی از نوآوری های این پژوهش، سنجش توان تاب آوری اجتماعی- فرهنگی جامعه های محلی در معرض خطر

روستاهای سنگ‌سفید، برده بل، چم کبود، قریب، کله قطار سفلی، کله قطار علیا، شورابه‌مراتع، طاق گاورین، بلاوه خشکه، هلت و چقاسبز از جمله روستاهای مهم آبخیز هستند (شکل ۱، جدول ۱). اندازه‌های آب‌دهی اوج سیلاب ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله این آبخیز بر اساس روش SCS، به‌ترتیب ۳۵/۲، ۴۰/۸، ۴۳/۷ و ۴۵/۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام ۲۰۱۸ ب).

در دهه‌های گذشته، رخداد پر شمار سیلاب‌های ویران‌گر منجر به خسارت‌های اقتصادی و به‌ویژه، خسارت به زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها، راه‌های ارتباطی و عشایری و ابنیه در این آبخیز شده است.

در این راستا، می‌توان به سیلاب اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ و فروردین‌ماه ۱۴۰۲ اشاره کرد. با توجه به اینکه بخش زیادی از درآمد ساکنان آبخیز به کشاورزی وابسته است و ۳۶/۴۹٪ از کل مساحت آبخیز نیز متعلق به زمین‌های کشاورزی است، مدیریت سیلاب، به‌ویژه با هدف کاهش خسارت‌های وارد شده به زمین کشاورزی آبخیز مهم است. در این راستا، انواع اقدامات زیستی شامل عملیات بذرپاشی، نهال‌کاری و کپه-کاری، اقدامات سازه‌ای شامل ساخت سدهای اصلاحی خشکه‌چین، گابیون و سنگ و ملاتی و نیز عملیات مدیریتی شامل قرق مراتع و اقدامات آموزشی-ترویجی به‌وسیله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام، در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ در این آبخیز اجرا شده است.

روش پژوهش

در این پژوهش، سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در واحدهای آب‌شناختی آبخیز سنگ‌سفید با استفاده از روش TOPSIS بر پایه مراحل ذیل انجام شد.

الف- شناسایی شاخص‌های سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی

در این گام، شاخص‌های سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی بر اساس بررسی منابع و پژوهش کتابخانه‌ای، مصاحبه با کارشناسان و نیز بازدیدهای میدانی و مصاحبه با ساکنان، شناسایی شد.

سیلاب در مرزبندی واحدهای آب‌شناختی آبخیز سنگ‌سفید موجود در شهرستان چرداول استان ایلام با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه TOPSIS و اندازه‌های حدی فرضی در محاسبه نمایه TOPSIS برای طبقه‌بندی و مقایسه توان مطلق تاب‌آوری واحدهای انتخاب‌شده آبخیز، بود. در دهه‌های گذشته، رخداد پر شمار سیلاب‌های ویران‌گر در این آبخیز و به‌ویژه، خسارت‌های اقتصادی وارد شده به زمین‌های کشاورزی آن ناشی از سیلاب اردیبهشت-ماه ۱۳۹۵ و فروردین‌ماه ۱۴۰۲، از یک‌سو، بیانگر نیاز به سنجش تاب‌آوری در برابر سیلاب محیط‌های روستایی در آبخیز بود و از سوی دیگر، بیانگر ضرورت تدوین راهبردها و راه‌حل‌های فنی و مدیریتی بهبود تاب‌آوری و کاهش مخاطره‌های ناشی از سیلاب بود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش شده

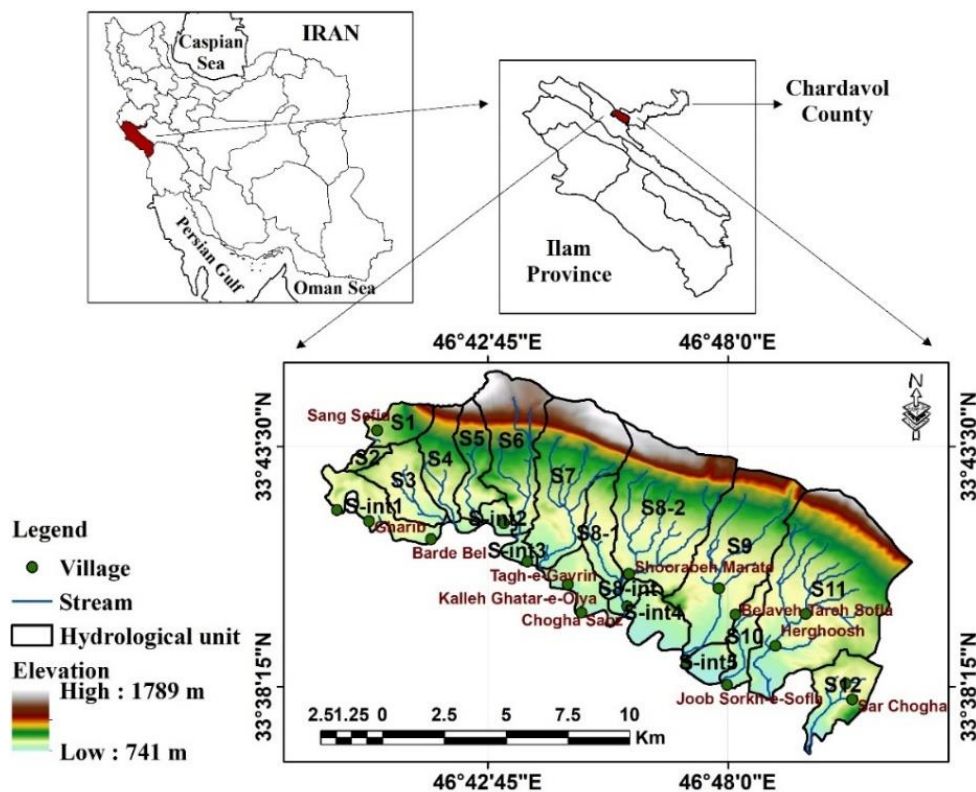
آبخیز سنگ‌سفید با مساحت ۱۳۴۸۱/۰۸ هکتار، بخشی از آبخیز درجه دو کرخه، در ذیل آبخیز درجه یک خلیج‌فارس و دریای عمان و در شمال‌شرقی شهر ایلام است. میانگین بارش سالانه این آبخیز ۶۷۸ میلی‌متر است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام ۲۰۱۸ ب).

آبخیز سنگ‌سفید در شهرستان چرداول استان ایلام، میان طول‌های جغرافیایی ۳۹° ۴۶' تا ۳۴° ۵۳' ۴۶" شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۴۵° ۳۶' ۴۵" تا ۳۳° ۳۳' ۱۰" شمالی است. بهترین راه دسترسی به آبخیز، جاده ایلام به سرابله است. کمینه و بیشینه بلندی آبخیز به‌ترتیب ۷۴۱ و ۱۷۸۹ متر است (شکل ۱). مساحت زمین‌های زراعی (کشت دیم و کشت آبی) و باغی آبخیز ۴۹۱۹/۵۴ هکتار است که عمدتاً در آن گندم، جو، برنج، عدس و باغ‌های انگور کشت می‌شود (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام ۲۰۱۸ الف).

بر پایه داده‌های برخط آخرین سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، این آبخیز ۱۸ روستا و ۲۹۸۴ نفر جمعیت دارد که بیشترین پراکنش روستاها در قسمت‌های جنوبی آبخیز است (شکل ۱).

(۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) در نظر گرفته شد. سپس، از ساکنان منطقه پس از سنجش روایی و پایایی پرسش‌نامه، نظرسنجی شد (شکل ۲).

ب- تعیین کمیت شاخص‌های سنجش تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی در وضعیت کنونی منطقه در این پژوهش، بر اساس روش کدگذاری چند پاسخی، متغیرهای پرسش‌نامه از نوع متغیرهای ترتیبی کیفی و منطبق با طیف لیکرت (خیلی کم



شکل ۱- موقعیت آبخیز سنگ‌سفید در استان ایلام و ایران.

Figure 1- The location of the Sang Sefid watershed in the Ilam Province and the Iran.



شکل ۲- نمایی از زمین کشاورزی روستای سنگ‌سفید (الف) و نظرسنجی از کارکنان خانه بهداشت و اهالی روستای سنگ‌سفید (ب).

Figure 2- A view of the agricultural lands of Sang Sefid village (a) and a survey of health house staff and residents of Sang Sefid village (b).

ایجاد ماتریس تصمیم

این ماتریس شامل کمیت هر یک از شاخص‌های شناسایی شده سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی برای هر یک از واحدهای انتخاب شده آب‌شناختی در منطقه پژوهش شده از دیدگاه جامعه محلی بود (به‌دست آمده از بند ب).

ایجاد ماتریس استاندارد با استفاده از رابطه ۳.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3)$$

ایجاد ماتریس بهنجار موزون با استفاده از رابطه ۴.

$$v_{ij} = w_j n_{ij}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J. \quad (4)$$

تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از رابطه‌های ۵ و ۶.

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in S_B), (min_i v_{ij} | j \in S_C)\} \quad (5)$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in S_B), (max_i v_{ij} | j \in S_C)\} \quad (6)$$

محاسبه فاصله اقلیدسی و نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل با استفاده از رابطه‌های ۷ تا ۹.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad \forall i \in I. \quad (7)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad \forall i \in I. \quad (8)$$

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad (9)$$

رتبه‌بندی تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در هر یک از واحدهای انتخاب شده آب‌شناختی منطقه پژوهش شده بر اساس اندازه‌های نزدیکی نسبی به گزینه ایده‌آل انجام شد.

د- طبقه‌بندی توان تاب‌آوری در برابر سیلاب واحدهای انتخاب شده آب‌شناختی

در این مرحله توان نسبی و مطلق تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی جامعه‌های محلی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب‌شناختی آبخیز سنگ‌سفید سنجش شد و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند

روایی ابزار اندازه‌گیری به‌وسیله گروه خبرگان تأیید شد. همچنین، از روش آلفای کرونباخ برای محاسبه اندازه پایایی یا قابلیت اعتماد ابزار اندازه‌گیری استفاده شد. اندازه آلفای کرونباخ با استفاده از رابطه ۱ و نرم‌افزار SPSS محاسبه شد (کرونباخ ۱۹۵۱).

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

α : آلفای کرونباخ، K: تعداد گویه‌ها، S_i^2 : پراکنش نمره‌های مربوط به گویه شماره i ام و S_t^2 : پراکنش جمع نمره‌های هر پاسخگو (پراکنش کل شاخص) است.

هم‌چنین در این پژوهش، واحد نمونه، خانوار روستایی در نظر گرفته شد. حجم نمونه نیز با استفاده از رابطه رابطه ۲ (کوکران ۱۹۷۷) بر اساس تعداد خانوار روستایی موجود در هر واحد انتخاب شده آب‌شناختی محاسبه شد (جدول ۱).

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

N: حجم نمونه (تعداد خانوار روستایی) از جامعه آماری زیرآبخیز، N: جامعه آماری (خانوارهای روستایی ساکن در واحد انتخاب شده)، t: آماره t استیودنت برای سطح اطمینان ۵٪ ($t=1/96$), S^2 : پراکنش برآوردی جامعه مد نظر ($S^2=0/25$) و d: درجه دقت احتمالی مطلوب ($d=0/05$) است.

ج- سنجش تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در واحدهای انتخاب شده آب‌شناختی منطقه

در این مرحله، اولویت‌بندی تاب‌آوری واحدها با استفاده از روش TOPSIS در محیط نرم‌افزاری Excel انجام شد. نخست، اهمیت هر یک از شاخص‌های سنجش تاب‌آوری بر اساس میانگین امتیاز خبرگان با استفاده از طیف ده‌گانه لیکرت (۱، کمترین اهمیت و ۱۰، بیشترین اهمیت) تعیین شد. در این پژوهش، از ۱۴ کارشناس خبره برای بررسی روایی و نیز تعیین اهمیت شاخص‌های سنجش تاب‌آوری نظرسنجی شد. سپس، تاب‌آوری واحدها بر پایه مراحل ذیل اولویت‌بندی شد (هوانگ و یون ۱۹۸۱).

شاخصه TOPSIS، با و بدون دخالت دادن دو گزینه فرضی در قالب کمینه و بیشینه اندازه‌های توان تاب‌آوری (به‌ترتیب با اندازه‌های متوسط ۱ و ۵ مرتبط با کلیه شاخص‌ها در واحدها) تعیین شد. لازم به توضیح است که در سنجش توان مطلق تاب‌آوری واحدها با استفاده از روش TOPSIS، در محاسبه اندازه‌های نزدیکی نسبی به گزینه ایده‌آل، از دو گزینه حدی شامل کمینه و بیشینه اندازه‌های توان تاب‌آوری به شرح فوق استفاده شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در واحدهای انتخاب‌شده آب‌شناختی منطقه سنگ‌سفید سنجش شد. در این راستا، جمعیت و تعداد خانوار هر یک از آبادی‌های موجود در واحدهای آب‌شناختی منطقه پژوهش بر پایه آخرین آمار سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، حجم نمونه واحدها با استفاده از رابطه کوکران و تعداد خانوار به‌عنوان واحد

نمونه، محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس، در مجموع، تعداد ۶۶۳ سرپرست خانوار به‌عنوان حجم نمونه برای منطقه پژوهش‌شده، محاسبه شد (جدول ۱). کمترین و بیشترین جمعیت آبادی‌های منطقه پژوهش‌شده مربوط به روستاهای کله قطارعلیا و طاق گاورین به‌ترتیب ۴۱ نفر (۱۱ خانوار) و ۵۱۱ نفر (۱۵۵ خانوار)، بود (جدول ۱). بر اساس داده‌های اداره کل منابع طبیعی و آب‌بخیزداری استان ایلام (۲۰۱۸ت)، از کل جمعیت آبخیز (۲۹۸۴ نفر)، ۲۳/۹۳٪ شاغل، ۱۴/۸۷٪ بیکار، ۲۴/۱۲٪ دانش‌آموز، ۲۵/۱۷٪ خانه‌دار و مابقی افراد کم سن و سال بودند. همچنین، ۵۱/۵٪ از جمعیت و ۸۸٪ از شاغلین آبخیز، مردان بودند. در سال ۱۳۹۵، نرخ مهاجرت آبخیز ۲/۰۵٪ و نرخ باسوادی آبخیز ۷۳/۱۹٪ بود. از دیدگاه ساختار سنی، بیشترین فراوانی گروه سنی (۴۰/۷۲٪)، مربوط به زنان و مردان ۲۵ تا ۶۴ ساله (میان‌سالان) بود و کمترین فراوانی گروه سنی (۵/۶۷٪) مربوط به افراد ۶۵ ساله و بزرگ‌تر (بزرگ‌سالان) بود. همچنین، ۲۶/۱۷٪ از جمعیت آبخیز مربوط به جوانان ۱۵ تا ۲۴ ساله بود.

جدول ۱- مشخصات جمعیت‌شناختی آبادی‌های منطقه سنگ‌سفید و حجم نمونه واحدها.

Table 1- Demographic characteristics of villages in the Sang Sefid region and the sample size of the units.

Row	Unit	Village	Population	Number of households	Sample size
1	S ₁	Sang Sefid	460	135	100
2	S-int ₁	Cham Kabud	56	14	83
3		Gharib	136	38	
4		Barde Bel	208	54	
5	S-int ₂	Sang Shelen	46	12	12
6	S-int ₃	Tagh-e-Gavrin	511	155	111
7	S-int ₄	Kalleh Ghatar-e-Sofla	85	25	33
8		Kalleh Ghatar-e-Olya	41	11	
9	S _{8-int}	Chogha Sabz	112	28	26
10	S-int ₅	Joob Boor	65	15	15
11	S ₈₋₂	Shoorabeh Marate	186	55	48
12	S ₉	Belaveh Tareh Olya	81	23	102
13		Belaveh Tareh Sofla	405	115	
14	S ₁₀	Joob Sorkh-e-Sofla	71	17	16
15	S ₁₁	Belaveh Khoshkeh	237	66	81
16		Herghoosh	134	36	
17	S ₁₂	Helt	106	27	36
18		Sar Chogha	44	12	

نتایج شاخص‌های سنجش تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی با بررسی منابع و پژوهش کتابخانه‌ای، مصاحبه با کارشناسان و نیز بازدیدهای میدانی و مصاحبه با ساکنان، در جدول ۲ ارائه شده است. در این راستا، ۱۱ شاخص به‌عنوان گویه‌های اصلی سنجش تاب‌آوری محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در نظر گرفته شد و روایی آن‌ها به‌وسیله خبرگان تأیید شد (جدول ۲). اندازه آلفای کرونباخ ۰/۸۳۲ محاسبه شد که بیانگر اندازه پایایی خوب ابزار اندازه‌گیری بود.

جدول ۲- شاخص‌های سنجش تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب.

Table 2- Socio-cultural resilience measurement indicators of rural environments exposed to flood risk.

Index	Attribute	Reference
V ₁	The level of responsibility and participation of the local community	Ghasemzadeh et al. 2021, Nahid et al. 2021, Ali and George 2022
V ₂	The level of physical health of the local community	Moghadas et al. 2019, Haque et al. 2022
V ₃	The level of mental health of the local community	Nahid et al. 2021, Haque et al. 2022
V ₄	The level of familiarity of local community residents with each other	Nahid et al. 2021
V ₅	The education level of local community	Kotzee and Reyers 2016, Mishra and Mohapatra 2019
V ₆	The level of knowledge of the local community about flood and necessary measures	Zhang et al. 2021, Ali and George 2022
V ₇	The level of social communication between the watershed residents	Ali and George 2022
V ₈	The level of trust of the local community in the fair service of the custodian institutions in times of crisis and after	Sharifinia 2018
V ₉	The sense of belonging of the residents to the region	Anacio et al. 2016, Lwin et al. 2020, Jacinto et al. 2023
V ₁₀	Previous experience of the local community from floods	Lwin et al. 2020
V ₁₁	The level of trust of the local community in the policies and programs of the authorities	Ghasemzadeh et al. 2021

استفاده از روش TOPSIS سنجش شد. اندازه‌های اهمیت شاخص‌ها (W_i) و نیز اندازه‌های بهنجارشده وزن شاخص‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین، نتایج اندازه‌های نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل مثبت (d_i^+) و منفی (d_i^-) و نیز نمایه TOPSIS (R_i) در جدول ۴ ارائه شده است.

به‌بیان دیگر، به دلیل بیشتر بودن آماره آلفای کرونباخ از اندازه ۰/۷، مشخص شد که پایایی ابزار اندازه‌گیری خیلی خوب بود و سازگاری درونی گویه‌های در نظر گرفته شده زیاد بود (جورج و مالری ۲۰۰۳). بر این اساس، بر اساس حجم نمونه محاسبه شده، نظرسنجی از جامعه‌های محلی انجام شد و توان تاب‌آوری با

جدول ۳- ماتریس تصمیم بهنجار شده وزن‌ها برای سنجش توان تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب.

Table 3- Weighted normalized decision matrix for measuring the socio-cultural resilience potential of rural environments exposed to flood risk.

Attribute	W_i	S_1	S_{-int_1}	S_{-int_2}	S_{-int_3}	S_{-int_4}	S_{8-int}	S_{-int_5}	S_{8-2}	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
V_1	9.92	2.79	2.98	1.80	2.07	3.35	2.23	2.55	3.19	3.54	2.71	3.19	3.35
V_2	7.42	2.41	2.40	2.18	2.32	2.21	1.63	1.74	2.09	2.63	2.32	1.63	1.86
V_3	8.25	2.28	2.13	2.44	3.22	2.35	1.83	1.96	2.09	2.96	2.61	1.83	2.48
V_4	7.12	2.22	2.18	2.00	2.35	2.07	1.88	1.69	1.97	2.04	1.97	2.16	2.07
V_5	7.60	2.36	2.15	2.64	2.39	2.11	1.55	2.11	1.97	3.09	1.97	1.97	1.55
V_6	9.83	3.54	3.42	2.98	2.48	2.48	1.91	2.48	2.10	4.29	2.67	2.29	2.48
V_7	9.17	2.72	2.83	2.08	1.52	2.77	2.36	2.63	3.19	3.05	2.50	2.91	2.77
V_8	9.58	2.95	3.50	1.12	1.74	2.34	2.88	3.06	2.70	3.50	2.52	2.88	3.06
V_9	9.75	3.04	2.80	1.11	1.24	3.02	3.02	3.29	3.16	2.77	2.61	3.16	3.43
V_{10}	9.50	3.84	3.60	1.71	1.69	2.15	2.15	2.73	1.56	3.81	3.91	1.56	2.34
V_{11}	9.67	3.09	3.61	2.28	1.60	2.50	2.50	2.69	2.50	3.94	2.69	2.50	2.88

جدول ۴- سنجه‌های محاسبه‌ای روش TOPSIS برای سنجش توان تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب.

Table 4- Computational parameters of the TOPSIS method for measuring the socio-cultural resilience potential of rural environments exposed to flood risk.

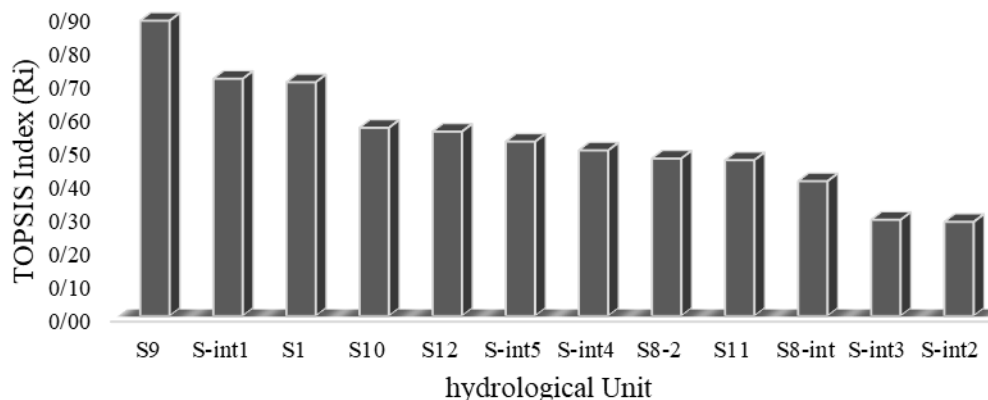
Item	S_1	S_{-int_1}	S_{-int_2}	S_{-int_3}	S_{-int_4}	S_{8-int}	S_{-int_5}	S_{8-2}	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
d_i^+	2.00	1.99	5.07	5.20	3.49	4.40	3.39	4.03	0.80	2.98	4.06	3.30
d_i^-	4.61	4.83	1.98	2.09	3.41	2.96	3.68	3.57	5.90	3.82	3.53	4.03
R_i	0.70	0.71	0.28	0.29	0.49	0.40	0.52	0.47	0.88	0.56	0.46	0.55

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشینه و کمینه اهمیت در سنجش تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی در مقایسه با دیگر شاخص‌ها از دیدگاه کارشناسان به ترتیب مربوط به شاخص‌های V_1 (اندازه مسئولیت‌پذیری و مشارکت افراد محلی) و V_4 (شناخت ساکنان جامعه محلی از یکدیگر) بود. همچنین، پنج شاخص مهم دیگر به ترتیب اولویت شاخص‌های V_6 ، V_1 (سطح دانش جامعه محلی از بابت سیل و اقدامات لازم)، V_9 (اندازه حس تعلق ساکنان به منطقه)، V_{11} (اندازه اعتماد جامعه محلی به سیاست‌ها و برنامه‌های مسئولان) و V_8 (اندازه اعتماد جامعه محلی به خدمت‌رسانی عادلانه نهادهای متولی در شرایط بحران و پس از آن) بودند. این شاخص‌ها در پژوهش‌های پیشین (شریفی‌نیا ۲۰۱۸، قاسم‌زاده و همکاران ۲۰۲۱، ناهید و همکاران ۲۰۲۱، علی و جورج ۲۰۲۲ و جاسینتو و همکاران ۲۰۲۳) نیز در

سنجش تاب‌آوری در برابر سیلاب معرفی شده‌اند که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. نتایج این پژوهش نشان داد که دامنه اندازه‌های نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی به ترتیب از ۰/۸۰ تا ۵/۲۰ و ۱/۹۸ تا ۵/۹۰ متغیر بود. دامنه اندازه‌های نمایه TOPSIS از ۰/۲۸ تا ۰/۸۸ متغیر بود (جدول ۴). دامنه گسترده نمایه TOPSIS، بیانگر وجود واحدایی با توان متفاوت تاب‌آوری در برابر سیلاب در منطقه پژوهش‌شده بود (شیه و اولسون ۲۰۲۲). در این راستا، نتایج نشان داد کمینه و بیشینه اندازه تاب‌آوری در برابر سیلاب به ترتیب مربوط به واحدهای S_{-int_2} و S_9 بود (جدول ۴ و شکل ۳). بر این اساس، سنجش توان نسبی تاب‌آوری محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در انواع واحدهای آب‌شناختی آبخیز سنگ‌سفید، بیانگر وجود ۵ طبقه توان تاب‌آوری بود. در منطقه پژوهش‌شده توان تاب‌آوری واحدهای

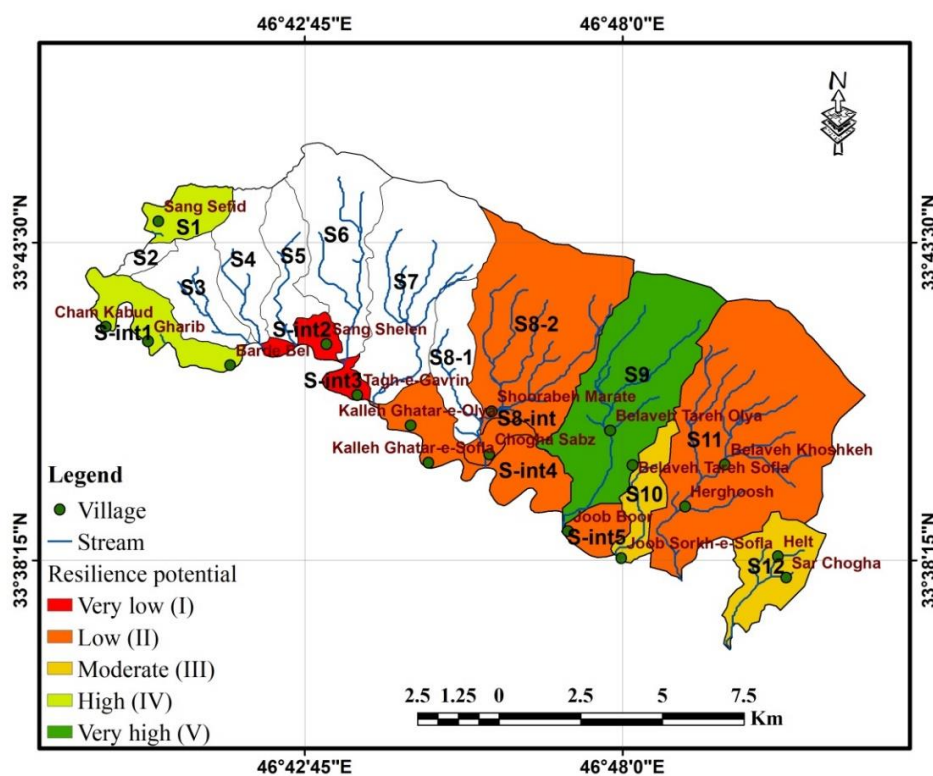
بیانگر واحدهای بدون سکونت‌گاه‌های روستایی در
آبخیز پژوهش شده است.

S-int3 و S-int2 خیلی کم (I) و توان تاب‌آوری واحد
S9 خیلی زیاد (V) بود (شکل ۴). لازم به توضیح
است که واحدهای آب‌شناختی بدون رنگ در شکل ۴،



شکل ۳- اولویت‌بندی اندازه‌های تاب‌آوری محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در انواع واحدهای آب‌شناختی.

Figure 3- Prioritizing resilience values of rural environments to flood hazard in hydrological units.



شکل ۴- سنجش توان نسبی تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در انواع واحدهای انتخاب‌شده آب‌شناختی با استفاده از روش TOPSIS.

Figure 4- Mapping the relative potential of socio-cultural resilience of rural environments exposed to floods for selected hydrological units based on the TOPSIS method.

اگرچه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مانند TOPSIS امکان اولویت‌بندی انواع گزینه‌ها را از دیدگاه اهمیت و اندازه‌های شاخص‌های انتخاب‌شده فراهم می‌آورند (صالح‌پورجم و کریم‌پور ریحان ۲۰۱۶، صالح‌پورجم و همکاران ۲۰۱۹)، اما با کاربرد روش‌های آماری مانند تحلیل پراکنش یک‌طرفه یا ANOVA نیز می‌توان تفاوت معنی‌دار میان گزینه‌ها را بررسی و تعیین کرد (ناهید و همکاران ۲۰۲۱، سیوتکوویچ و شیشوویچ ۲۰۲۴). همچنین، لازم به توضیح است که در این پژوهش توان تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب‌شناختی با نظرسنجی از ساکنان آبخیز بر اساس پرسش‌نامه و بر اساس طیف لیکرت سنجش شد.

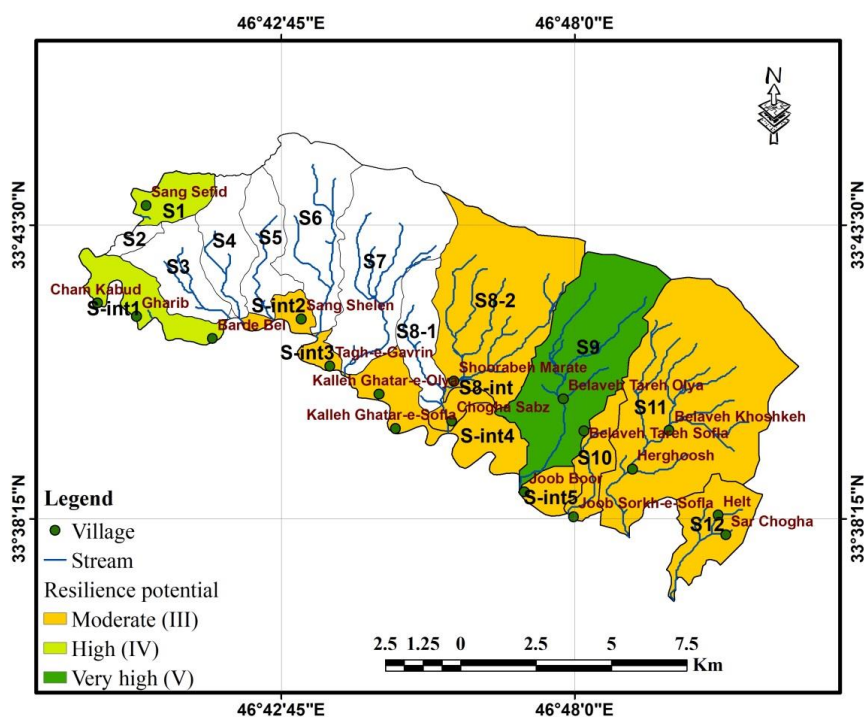
نتایج سنجش توان مطلق تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی واحدها در برابر سیلاب، بر اساس اندازه نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل مثبت (d_i^+) و منفی (d_i^-) و نیز نمایه TOPSIS (R_i) پس از در نظر گرفتن دو گزینه حدی کمینه و بیشینه اندازه‌های توان تاب‌آوری، در جدول ۵

ارائه‌شده است. نتایج نشان داد که دامنه اندازه‌های نمایه TOPSIS از ۰/۴۱ تا ۰/۸۰ در انواع واحدهای آب‌شناختی منطقه پژوهش‌شده متغیر بود. در این پژوهش، کمینه و بیشینه توان تاب‌آوری در برابر سیلاب به‌ترتیب مربوط به واحدهای S-int2 و S9 بودند (جدول ۵). لازم به توضیح است که عموماً روش TOPSIS برای مقایسه نسبی اهمیت گزینه‌ها و طبقه‌بندی نسبی توان پدیده‌ها، در تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه، استفاده‌شده است (لو و همکاران ۲۰۲۴). در این پژوهش، اندازه‌گیری تمام شاخص‌های تاب‌آوری بر اساس طیف پنج‌گانه لیکرت، امکان دخالت دادن دو گزینه فرضی با کمینه و بیشینه اندازه‌های توان تاب‌آوری (به‌ترتیب با اندازه‌های متوسط ۱ و ۵ برای هر شاخص) و در نتیجه طبقه‌بندی توان مطلق تاب‌آوری واحدها در برابر سیلاب را فراهم آورد (جدول ۵، شکل ۵). بر این اساس، طبقه‌بندی و سنجش توان مطلق تاب‌آوری در برابر سیلاب واحدهای انتخاب‌شده آب‌شناختی بر اساس نمایه TOPSIS (R_i) در شکل ۵ ارائه‌شده است.

جدول ۵- سنجه‌های محاسبه‌ای روش TOPSIS با در نظر گرفتن اندازه‌های حدی.

Table 5- Computational parameters of the TOPSIS method considering limit values.

Item	S_1	S_{-int_1}	S_{-int_2}	S_{-int_3}	S_{-int_4}	S_{8-int}	S_{-int_5}	S_{8-2}	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	Min	Max
d_i^+	3.21	3.03	6.09	6.21	4.67	5.40	4.48	5.07	1.89	4.07	5.10	4.40	9.39	0.00
d_i^-	6.39	6.51	4.24	4.38	5.42	4.51	5.29	5.35	7.62	5.67	5.23	5.76	0.00	9.39
R_i	0.67	0.68	0.41	0.41	0.54	0.46	0.54	0.51	0.80	0.58	0.51	0.57	0.00	1.00



شکل ۵- سنجش توان مطلق تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در انواع واحدهای انتخاب‌شده آب‌شناختی با استفاده از روش TOPSIS.

Figure 5- Mapping the absolute potential of socio-cultural resilience of rural environments exposed to floods for selected hydrological units based on the TOPSIS method.

واحدها را نسبت به هم مقایسه کرد (کاتر و همکاران ۲۰۱۰)، امکان مقایسه توان تاب‌آوری واحدهای مشابه در دوره‌های زمانی گوناگون را نیز فراهم می‌آورد. اگرچه در این پژوهش تاب‌آوری اجتماعی- فرهنگی محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای انتخاب‌شده آب‌شناختی سنجش شد، اما سنجش تاب‌آوری در برابر سیلاب می‌تواند ابعاد گوناگونی از دیدگاه تاب‌آوری، مانند تاب‌آوری اجتماعی - فرهنگی، اقتصادی، مدیریتی- نهادی یا کالبدی را به شکل منفرد (چان و همکاران ۲۰۱۷) یا در قالب نمایه‌ای تجمیعی به شکل نقشه درآورد (مقدس و همکاران ۲۰۱۹). در سنجش تاب‌آوری با کاربرد روش‌های آماری مانند تحلیل پراکنش یک‌طرفه یا ANOVA اهمیت شاخص‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و فقط بر اساس احتباس امتیاز شاخص در هر گزینه سنجش انجام می‌شود (ناهدی و همکاران ۲۰۲۱، سیوتکوویچ و شیشوویچ ۲۰۲۴)، اما

نتایج نشان داد که توان مطلق تاب‌آوری در برابر سیلاب انواع واحدهای آب‌شناختی منطقه پژوهش‌شده در سه طبقه توان تاب‌آوری متوسط (واحدهای S-int2, S-int3, S-int4, S8-2, S8-int, S-int5, S10, S11 و S12)، زیاد (S1 و S-int1) و خیلی‌زیاد (S9) بودند (شکل ۵). بر این اساس، از مجموع مساحت محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای انتخاب‌شده آب‌شناختی، توان تاب‌آوری ۶۶۶۹/۴ هکتار (۷۳/۴۱٪) متوسط، ۷۳۲/۵ هکتار (۸/۰۶٪) زیاد و ۱۶۸۲/۷ هکتار (۱۸/۵۲٪) خیلی‌زیاد بود. سنجش توان مطلق تاب‌آوری محیط‌های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب‌شناختی، امکان مقایسه توان تاب‌آوری را با نقشه‌های مشابه، در دیگر مناطق را فراهم می‌آورد. ویژگی سنجش توان مطلق تاب‌آوری با کاربرد روش TOPSIS این است که برخلاف سنجش نسبی توان تاب‌آوری که فقط می‌توان تاب‌آوری

در روش های تصمیم گیری چند شاخصه افزون بر امتیاز شاخص در هر گزینه، اهمیت آن ها نیز سنجش می شود (مشوانی و همکاران ۲۰۲۴). در این پژوهش بر اساس این ویژگی شاخص های مهم سنجش تاب آوری انتخاب شدند.

نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، سنجش تاب آوری اجتماعی-فرهنگی محیط های روستایی در معرض خطر سیلاب در واحدهای آب شناختی آبخیز سنگ سفید استان ایلام مبتنی بر ۱۱ شاخص شناسایی شده و با استفاده از روش TOPSIS انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشینه و کمینه اهمیت در سنجش تاب آوری اجتماعی-فرهنگی در مقایسه با دیگر شاخص ها از دیدگاه کارشناسان به ترتیب مربوط به شاخص های V_1 (اندازه مسئولیت پذیری و مشارکت افراد محلی) و V_4 (شناخت ساکنان جامعه محلی از یکدیگر) بود. همچنین، سه شاخص مهم دیگر به ترتیب اولویت شاخص های V_1 ، V_6 (سطح دانش جامعه محلی از مقوله سیل و اقدامات لازم) و V_9 (اندازه حس تعلق ساکنان به منطقه) بودند. در این پژوهش، توان نسبی و مطلق تاب آوری اجتماعی-فرهنگی جامعه های محلی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب شناختی آبخیز سنگ سفید سنجش شد و با و بدون دخالت دادن دو گزینه فرضی در قالب کمینه و بیشینه اندازه های توان تاب آوری (به ترتیب با اندازه های متوسط ۱ و ۵ مرتبط با کلیه شاخص ها در واحدها) تعیین شد. نتایج سنجش توان تاب آوری محیط های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب شناختی آبخیز سنگ سفید، بیانگر وجود انواع واحدهای توان تاب آوری متوسط، زیاد و خیلی زیاد در این آبخیز بود. در این راستا، استفاده از روش های ساختار بندی مانند SWOT و DPSIR، برای شناسایی راه حل ها یا راهبردهای افزایش توان تاب آوری محیط های روستایی در معرض خطر سیلاب پیشنهاد می شود. در این راستا، توجه به افزایش سطح شاخص های مسئولیت پذیری و مشارکت

افراد محلی، سلامت جسمی و روحی - روانی افراد محلی، ارتباط اجتماعی و شناخت جامعه محلی از یکدیگر، سطح تحصیلات و دانش جامعه محلی از سیل و اقدامات لازم، اعتماد جامعه محلی به خدمت رسانی عادلانه نهادهای متولی در شرایط بحران و پس از آن و اعتماد جامعه محلی به سیاست ها و برنامه های مسئولان، پیشنهاد می شود. افزون بر این، استفاده از انواع فنون تعیین اهمیت یا وزن عامل ها (AHP) در ترکیب با دیگر روش های تصمیم گیری چند شاخصه، برای پژوهش های آتی سنجش تاب آوری پیشنهاد می شود. همچنین، زمان بر بودن نظرسنجی از ساکنان آبخیز، چالش برانگیزترین موضوع در این پژوهش بود.

در این پژوهش توان تاب آوری اجتماعی-فرهنگی محیط های روستایی در معرض خطر سیلاب در مرزبندی واحدهای آب شناختی با نظرسنجی از ساکنان آبخیز بر اساس پرسش نامه با طیف لیکرت سنجش شد. این در حالی است که افزون بر این نقشه، سنجش توان سیل خیزی واحدهای آب شناختی آبخیز پژوهش شده بر اساس شاخص های تولید سیلاب از جمله لایه های اطلاعاتی مهم در فرآیند برنامه ریزی برای مدیریت سیلاب در پژوهش های آتی پیشنهاد می شود.

سیاس گذاری

این پژوهش برگرفته از طرح مشترک پژوهشی با کد ۰۳۰۲۷۵-۰۳۱-۲۹۵۱-۲۹-۱۳، و با استفاده از اعتبارات مالی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و دانشگاه ایلام اجرا شد. از این رو، نویسندگان این مقاله از تمام دست اندرکاران و به ویژه از ساکنان مهربان روستاهای آبخیز سنگ سفید صمیمانه قدردانی می کنند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافی در زمینه نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندهٔ سوم: بررسی‌های میدانی، جمع‌آوری داده، تحلیل‌های آماری، تصویرسازی.
نویسندهٔ چهارم: تحلیل‌های آماری، مشاوره، بازبینی متن مقاله

نویسندهٔ اول: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، تحلیل‌های آماری و نرم‌افزاری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله، مدیریت طرح
نویسندهٔ دوم: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، تحلیل‌های آماری و نرم‌افزاری، نظارت و بررسی نتایج

فهرست منابع

- Abdali Y, Zanganeh Shahraki S, Hataminejad H, Pourahmad A, Salmani M. 2024. Measuring urban resilience against flood risk using composite indicators: A case study of Khorramabad City. *Motaleate Shahri*. 13(50): 61-76. (In Persian).
<https://doi.org/10.34785/J011.2022.021>
- Adger WN. 2000. Social and ecological resilience: are they related?. *Progress in Human Geography*. 24(3): 347-64.
- Afsari R, Shahsavary MS. 2023. Spatial analysis of resilience against natural hazards with an emphasis on floods, the Case study of districts of Tehran city. *Geographical Urban Planning Research*. 10(4): 119-33. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2023.351188.1758>
- Aghaloo K, Sharifi A, Habibzadeh N, Ali T, Chiu YR. 2024. How nature-based solutions can enhance urban resilience to flooding and climate change and provide other co-benefits: A systematic review and taxonomy. *Urban Forestry and Urban Greening*. 30: 128320.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128320>
- Ali S, George A. 2022. Modelling a community resilience index for urban flood-prone areas of Kerala, India (CRIF). *Natural Hazards*. 113(1): 261-86.
<https://doi.org/10.1007/s11069-022-05299-7>
- Anacio DB, Hilvano NF, Burias IC, Pine C, Nelson GL, Ancog RC. 2016. Dwelling structures in a flood-prone area in the Philippines: sense of place and its functions for mitigating flood experiences. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 15:108-115.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.01.005>
- Attaran S, Mosaedi A, Sojasi Qeydari H. 2022. Investigating the role of natural and human factors on intensification of floods and flooding in Kalat city. *Water and Soil*. 36(4): 21-38. (In Persian).
<https://doi.org/10.22067/jsw.2022.77163.1173>
- Baranpour N, Hasanvand D, Nademi Y. 2021. Examining the effect of floods in 1398 on production and employment in Iran agricultural sector using the Expanding Hypothetical Extraction method. *Agricultural Economics and Development*. 29(3): 73-97. (In Persian).
<https://doi.org/10.30490/AEAD.2021.352028.1277>
- Belvasi IA, Asghari Saraskanrod S, Esfandiari Dorabad F, Zeinali B. 2020. The role of land use changes on run-off and flood properties in the Doab catchment. *Iranian Journal of Ecohydrology*. 7(2): 331-344. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/IJE.2020.295346.1263>
- Cao F, Xu X, Zhang C, Kong W. 2023. Evaluation of urban flood resilience and its space-time evolution: a case study of Zhejiang Province, China. *Ecological Indicators*. 154: 110643.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110643>
- Chun H, Chi S, Hwang B. 2017. A spatial disaster assessment model of social resilience based on geographically weighted regression. *Sustainability*. 9(12): 1-16.
<https://doi.org/10.3390/su9122222>
- Cochran WG. 1977. Sampling technique. Third ed. New York: Wiley.
- Cronbach LJ. 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*. 16(3): 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Cutter SL. 2016. Resilience to what? resilience for whom?. *Geographical Journal*. 182(2):110-113.
<https://doi.org/10.1111/geoj.12174>
- Cutter SL, Burton CG, Emrich CT. 2010. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. 7(1): 28-42. <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732>
- Cvetković VM, Šišović V. 2024. Understanding the sustainable development of community (social) disaster resilience in Serbia: Demographic and Socio-economic Impacts. *Sustainability*. 16(7): 1-34.
<https://doi.org/10.3390/su16072620>
- Dewa O, Makoka D, Ayo-Yusuf OA. 2023. Measuring community flood resilience and associated factors in rural Malawi. *Journal of*

- Flood Risk Management. 16(1): 1-21. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12874>
- Doroudi H, Sepehrifar H. 2019. Assessing crisis management in Iran based on Little John Model (a case study of the flood of 2019 in Lorestan, Mazandaran, and Kermanshah earthquake in 2017). *Disaster Prevention and Management Knowledge*. 9(4):393-402. (In Persian).
- Folke C. 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*. 16(3): 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Foroudi Sefat E, Golestani Kermani S, Samare Hashemi M, Zounemat-Kermani M. 2024. A review of two decades of flood and drought hazards in Kerman Province. *Watershed Engineering and Management*. 17(2): 235-255. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2024.366749.2077>
- General Department of Natural Resources and Watershed Management of Ilam Province. 2018a. Botanical report, detailed studies of the Sang Sefid watershed, General Department of Natural Resources and Watershed Management (GDNRW), Ilam Province. 131 p. (In Persian).
- General Department of Natural Resources and Watershed Management of Ilam Province. 2018b. Hydrological report, detailed studies of the Sang Sefid watershed, General Department of Natural Resources and Watershed Management (GDNRW), Ilam Province. 98 p. (In Persian).
- General Department of Natural Resources and Watershed Management of Ilam Province. 2018c. Meteorology and climatology report, detailed studies of the Sang Sefid watershed, General Department of Natural Resources and Watershed Management (GDNRW), Ilam Province. 157 p. (In Persian).
- General Department of Natural Resources and Watershed Management of Ilam Province. 2018d. Socio-economic report, detailed studies of the Sang Sefid watershed, General Department of Natural Resources and Watershed Management (GDNRW), Ilam Province. 74 p. (In Persian).
- George D, Mallery P. 2003. SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, 11.0 update (4th ed.), Allyn and Bacon, Boston. 435 p.
- Ghadbeygi M, Mazaheri H, Shafiei H, Mardian M. 2024. Urban flood risk management, a solution for the protection of ecosystems (case study: Arak City). *Research in Ethnobiology and Conservation*. 1(2): 38-50. (In Persian). <https://doi.org/10.22091/ETHC.2024.10558.1018>
- Ghasemzadeh B, Zarabadi ZS, Majedi H, Behzadfar M, Sharifi A. 2021. A framework for urban flood resilience assessment with emphasis on social, economic and institutional dimensions: A qualitative study. *Sustainability*. 13(14): 1-27. <https://doi.org/10.3390/su13147852>
- González-Quintero C, Avila-Foucat VS. 2019. Operationalization and measurement of social-ecological resilience: A systematic review. *Sustainability*. 11(21): 1-18. <https://doi.org/10.3390/su11216073>
- Haque MM, Islam S, Sikder MB, Islam MS. 2022. Community flood resilience assessment in Jamuna floodplain: A case study in Jamalpur District Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 72: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102861>
- Holling CS. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 4: 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Irani T, Abghari H, Rasouli AA. 2024. Analyzing the threats of climate change and land use changes on increasing flood risk in the Shahrchay drainage basin. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 14(2):105-126. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/JNEH.2024.49039.2053>
- Jacinto R, Sebastião F, Reis E, Ferrão J. 2023. SoResilere—a social resilience index applied to Portuguese flood disaster-affected municipalities. *Sustainability*. 15(4): 1-43. <https://doi.org/10.3390/su15043309>
- Khourshidi S, Rostami N, Salehpourjam A. 2021. Prioritizing flood producing potential in ungauged watersheds using the AHP-VIKOR method (Case study: Haji-Bakhtiar Watershed, Ilam). *Environmental Erosion Research Journal*. 11(2): 66-92. (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.22517812.1400.11.2.4.4>
- Klein RJ, Nicholls RJ, Thomalla F. 2003. Resilience to natural hazards: How useful is this concept?. *Global Environmental Change, Part B: Environmental Hazards*. 5(1): 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>
- Kotzee I, Reyers B. 2016. Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. *Ecological Indicators*. 60: 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.018>
- Luo Z, Tian J, Zeng J, Pilla F. 2024. Flood risk evaluation of the coastal city by the EWM-TOPSIS and machine learning hybrid method.

- International Journal of Disaster Risk Reduction. 106: 1-16.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104435>
- Lwin KK, Pal I, Shrestha S, Warnitchai P. 2020. Assessing social resilience of flood-vulnerable communities in Ayeyarwady Delta, Myanmar. International Journal of Disaster Risk Reduction. 51: 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101745>
- Mabrouk M, Haoying H. 2023. Urban resilience assessment: A multicriteria approach for identifying urban flood-exposed risky districts using multiple-criteria decision-making tools (MCDM). International Journal of Disaster Risk Reduction. 91: 235-257.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103684>
- Mansourfar K. 2006. Advanced methods of statistics with computer programs. University of Tehran Press, Tehran. 123 p. (In Persian).
- Mesbah A, Karamidehkordi E, Tohidloo S, Salehpour Jam A, Saadi T. 2024. A review of resilience in the studies of natural hazards in Iran. Watershed Engineering and Management. 16(3): 354-77. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2023.362235.2019>
- Miao C, Na M, Chen H, Ding M. 2024. Urban resilience evaluation based on Entropy-TOPSIS model: A case study of county-level cities in Ningxia, northwest China. International Journal of Environmental Science and Technology. 10: 1-6.
<https://doi.org/10.1007/s13762-024-05880-6>
- Mishra NO, Mohapatra SU. 2019. Identification and construction of flood disaster resilience index to measure socio-economic flood resilience in eastern Uttar Pradesh: A inter-district analysis. International Journal of Applied Social Science. 6(12): 85-90.
- Moghadas M, Asadzadeh A, Vafeidis A, Fekete A, Kötter T. 2019. A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. International Journal of Disaster Risk Reduction. 35: 1-14.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101069>
- Mosaffaie J, Nikkami D, Salehpour Jam A. 2019. Watershed management in Iran: history, evolution and future needs. Watershed Engineering and Management. 11(2): 283-300. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121169.1459>
- Mosaffaie J, Salehpour Jam A, Tabatabaei MR, Kousari MR. 2021. Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. Land Use Policy. 100: 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104911>
- Mushwani H, Ahmadzai MR, Ullah H, Baheer MS, Peroz S. 2024. A comprehensive AHP numerical module for assessing resilience of Kabul City to flood hazards. Urban Climate. 55: 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101939>
- Mwanza JB, Nsenduluka E, Shumba O. 2024. Indigenous knowledge use and its constraints in drought resilience building: A case of rural Gwembe-Zambia. Open Journal of Social Sciences. 12(1): 339-59.
<https://doi.org/10.4236/jss.2024.121023>
- Nahid M, Zandmoghadam MR, Karkehabadi Z. 2021. Measuring and evaluating the resilience of urban areas against urban flooding (Case study: district 4 of Tehran). Journal of Range and Watershed Management. 74(1): 189-205. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/jrwm.2021.323575.1589>
- Nakileza BR, Majaliwa MJ, Wandera A, Nantumbwe CM. 2017. Enhancing resilience to landslide disaster risks through rehabilitation of slide scars by local communities in Mt Elgon, Uganda. Journal of Disaster Risk Studies. 9(1): 1-12.
- Obrist B, Pfeiffer C, Henley R. 2010. Multi-layered social resilience: a new approach in mitigation research. Progress in Development Studies. 10(4): 283-93.
<https://doi.org/10.1177/146499340901000402>
- Pandey V, Komal, Dincer H. 2023. A review on TOPSIS method and its extensions for different applications with recent development. Soft Computing. 27(23): 18011-39.
<https://doi.org/10.1007/s00500-023-09011-0>
- Parizi E, Hosseini SM. 2022. Frequency analysis and investigation of the factors affecting 100-yr peak-flood in Iran's watersheds. Geography and Environmental Planning. 33(2): 19-38. (In Persian).
<https://doi.org/10.22108/GEP.2022.130040.1450>
- Parizi SM, Taleai M, Sharifi A. 2022. A GIS-based multi-criteria analysis framework to evaluate urban physical resilience against earthquakes. Sustainability. 14(9): 1-31.
<https://doi.org/10.3390/su14095034>
- Prashar N, Lakra HS, Shaw R, Kaur H. 2023. Urban flood resilience: A comprehensive review of assessment methods, tools, and techniques to manage disaster. Progress in Disaster Science. 27: 1-17.
<https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2023.100299>
- Proag V. 2014. The concept of vulnerability and resilience. Procedia Economics and Finance. 18: 369-76.
[https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00952-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00952-6)
- Rajabizadeh Y, Ayyoubzadeh SA, Zahiri A. 2020. Flood survey of Golestan province in 2018-2019 and providing solutions for its control and management in the future. Iranian

- Journal of Ecohydrology. 6(4): 921-942. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/IJE.2019.283004.1137>
- Rana IA, Bhatti SS, Jamshed A, Ahmad S. 2021. An approach to understanding the intrinsic complexity of resilience against floods: Evidences from three urban communities of Pakistan. International Journal of Disaster Risk Reduction. 63: 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102442>
- Ranjbar A, Moradi M. 2020. Investigation of short-duration convective rainfall leads to Flashflood event in Kan and Sijan regions (case study: july 19, 2015). Journal of Meteorology and Atmospheric Science. 3(1): 1-4. (In Persian).
<https://doi.org/10.22034/JMAS.2020.130878>
- Sadeghi HR, Ghabelnezam E, Ahmadinejad Baghban F, Zabihi Seilabi M, Chamani R. 2024. Variability in health zoning due to applying different methods for averaging pressure, state, and response indices in the Baladeh-e-Noor watershed, Iran. Integrated Watershed Management. 5(1): 19-36. (In Persian).
<https://doi.org/10.22034/IWM.2024.2035677.1163>
- Saja AA, Teo M, Goonetilleke A, Ziyath AM, Gunatilake J. 2020. Selection of surrogates to assess social resilience in disaster management using multi-criteria decision analysis. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment. 11(4): 453-80.
<https://doi.org/10.1108/IJDRBE-07-2019-0045>
- Salehi A, Karasi P. 2021. The role of man-made factors in desertification east of Isfahan. Spatial Planning. 11(3): 1-24. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/WMEJ.2019.126535.1227>
- Salehpour Jam A, Karimpour Reihan M. 2016. Investigation of pedological criterion affecting on desertification in alluvial fans using AHP-TOPSIS technique (Case study: South east of Roudeh-Shoor Watershed). Desert. 21(2): 181-92.
<https://doi.org/10.22059/JDESERT.2016.60320>
- Salehpour Jam A, 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>
- Salehpour Jam A, Mosaffaie J, Tabatabaei MR. 2021. Management responses for Chehel-Chay watershed health improvement using the DPSIR framework. Journal of Agricultural Science and Technology. 23(4): 797-811.
- Salehpour Jam A, Peyrowan HR, Tabatabaei MR, Sarreshtehdari A, Mosaffaie J. 2019. An assessment of the land degradation potential using the TOPSIS method (case study: rangelands overlooking the city of Eshtehard, the province of Alborz). Watershed Management Research Journal. 32(4): 79-93. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/WMEJ.2019.126535.1227>
- Sharifinia Z. 2019. Assessing the social resilience of rural areas against flooding using FANP and WASPAS models (Case study: Chardange district of Sari County). Journal of Geography and Environmental Hazards. 8(2): 1-26. (In Persian).
<https://doi.org/10.22067/GEO.V0I0.78724>
- Shih HS, Olson DL. 2022. TOPSIS and its extensions: A distance-based MCDM approach. Springer. 447: 217-231.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-09577-1>
- Soleimanpour SM, Salehpour Jam A, Mosaffaie J, Noroozie K. 2023. Land subsidence risk management solutions in Seydan-Farooq plain of Fars Province with the Driving force-Pressure-State-Impact-Response approach. Watershed Management Research. 36(1): 50-65. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/WMRJ.2022.358262.1465>
- Trémeau J, Olascoaga B, Backman L, Karvinen E, Vekuri H, Kulmala L. 2024. Lawns and meadows in urban green space—a comparison from perspectives of greenhouse gases, drought resilience and plant functional types. Biogeosciences. 21(4): 949-972.
<https://doi.org/10.5194/bg-21-949-2024>
- Zhang H, Yang J, Li L, Shen D, Wei G, Dong S. 2021. Measuring the resilience to floods: a comparative analysis of key flood control cities in China. International Journal of Disaster Risk Reduction. 59: 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102248>
- Zhang M, Yang X, Zhang J, Li G. 2022. Post-earthquake resilience optimization of a rural road-bridge transportation network system. Reliability Engineering and System Safety. 225: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108570>
- Zayyari K, Ebrahimipour M, Pourjafar MR, Salehi E. 2020. Explaining strategies for increasing physical resilience against flood, case study: Cheshmeh Kile River, Tonekabon River. Sustainable City. 3(1): 89-105. (In Persian).
<https://doi.org/10.22034/JSC.2019.186626.1014>



Measuring Socio-cultural Resilience of Rural Environments Exposed to Flood Risk Using the TOPSIS Method

Amin Salehpour Jam^{1*}, Noredin Rostami², Shokoufeh Abdali³, Jamal Mosaffaie⁴

1 and 4- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute,
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture,
Ilam University, Ilam, Iran

3- M.Sc. Student of Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland and Watershed
Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

In the past decades, unsustainable development has led to the emergence and occurrence of various crises and human, social, economic losses, and environmental hazards in the country's watersheds. In particular, flooding is one of the phenomena that has increased significantly in urban and rural areas of the country in recent decades due to this unsustainable development and the effects of climate change. Accordingly, measuring various dimensions of resilience of urban and rural communities at risk of flooding as well as identifying strategies to increase resilience against flooding, is an important step in manage this phenomenon, especially in the process of integrated watershed management. In this study, the relative and absolute potential of socio-cultural resilience of local communities at risk of flooding in the hydrological units of the Sang Sefid watershed was carried out using the TOPSIS multi-attribute decision-making method.

Materials and Methods

In this study, first, indicators of socio-cultural resilience were identified, based on the literature review, interviews with experts, as well as field visits and interviews with residents. Then, the multiple response coding method was used to quantify the socio-cultural resilience indicators in the current situation of the region. The variables used in the questionnaire were considered qualitative ordinal variables according to the Likert scale (very low (1), low (2), moderate (3), high (4) and very high (5)) were considered. Then, after assessing the validity and reliability of the questionnaire, a survey was conducted among the residents of the area. In this regard, the validity of the questionnaire was approved by the expert group. Also, Cronbach's alpha method was used to calculate the reliability of the measurement tool. Also, in this study, the sample unit was a rural household, and Cochran's formula was used to calculate the sample size based on the number of rural households in each hydrological unit.

Article Type: Research Article

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

Citation: Salehpour Jam, A., Rostami, N., Abdali, Sh., Mosaffaie, J. 2025. Measuring Socio-cultural Resilience of Rural Environments Exposed to Flood Risk Using the TOPSIS Method. Watershed Management Research. 38(3): 57-77.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.368104.1610

Received: 29 December 2024, **Received in revised form:** 12 February 2025, **Accepted:** 18 March 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.3, Ser. No:148, Autumn 2025, pp. 57-77.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Finally, to measure the relative and absolute potential of socio-cultural resilience of local communities at risk of flooding was measured in the demarcation of hydrological units of the Sang Sefid watershed and was determined using the TOPSIS multi-criteria decision-making method, with and without the intervention of two hypothetical alternatives in the form of minimum and maximum values of resilience potential (respectively with average values of 1 and 5 related to all indicators in units).

Results and Discussion

In this study, 11 indicators were identified as the main items for measuring the resilience of rural environments at risk of flooding. Also, the sample size based on Cochran's formula was calculated as 663 samples. In addition, the value of Cronbach's alpha was calculated as 0.832, which indicates the good reliability of the measurement tool. The results show that the most important and least important indicators in measuring socio-cultural resilience compared to other indicators from the experts' perspective were indicators V_1 (The level of responsibility and participation of the local community) and V_4 (The level of familiarity of local community residents with each other) respectively. Also, five other important indicators included V_1 , V_6 (level of knowledge of the local community about flood and necessary measures), V_9 (sense of belonging of the residents to the region), V_{11} (level of trust of the local community in the policies and programs of the authorities) and V_8 (level of trust of the local community in the fair service of the custodian institutions in times of crisis and after) respectively. Also, the results show that the range of values of relative closeness to the positive and negative ideal solution varies from 0.80 to 5.20 and 1.98 to 5.90, respectively. Also, the range of TOPSIS index values varies from 0.28 to 0.88. The wide range of the TOPSIS index indicates the presence of units with different flood resilience potentials in the studied area. In this regard, the results showed that the lowest and highest flood resilience measures (R_i measures) were 0.28 and 0.88 for units S-int2 and S9, respectively. Also, in rural areas at risk of flooding in the boundaries of selected hydrological units, the resilience potential of 6669.4 hectares (73.41%) have moderate resilience potential, 732.5 hectares (8.06%) have high resilience potential, and 1682.7 hectares (18.52%) was very high.

Conclusion and Suggestions

The results of this study show the different importance among the 11 indicators identified in measuring resilience. The results of measuring the resilience potential of rural environments at risk of flooding in the demarcation of hydrological units of the Sang Sefid watershed indicated the existence of types of units with medium, high, and very high resilience potential in the studied watershed. Based on the results of this research, it is recommended to use SWOT and DPSIR programs to increase the resilience potential of units, especially by applying problem structuring methods. In addition, the use of the results of this study and various techniques for determining the importance or weights of indicators in combination with other multi-attribute decision-making methods is suggested for future studies of resilience measurement. Also, the time-consuming survey to fill the questionnaire by the watershed residents was the most challenging issue in the current study.

Keywords: Decision matrix, ideal solution, local community, multi-attribute decision-making, resilience potential

Article Type: Research Article

Acknowledgement

This study was conducted as a joint research project with the code 13-29-2951-031-030275, using the financial credits of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute and Ilam University. The authors express their sincere gratitude to all those involved and especially to the kind residents of Sang Sefid watershed villages.

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

First Author: Conceptualization, methodology, statistical and software analysis, writing the original manuscript draft, and project management

Second Author: Conceptualization, methodology, statistical and software analysis, supervision, and result control

Third Author: Field surveys, data collection, statistical analysis, visualization

Fourth Author: Statistical analysis, consultation, and revision of the manuscript



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌نخزرداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



سازمان جهاد کشاورزی

ارزیابی کارایی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی

سید مسعود سلیمان‌پور^{۱*}، امید رحمتی^۲، صمد شادفر^۳، مریم عنایتی^۴

- ۱- 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
- ۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
- ۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران ایران
- ۴- 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

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

فرسایش آبی یکی از مهم‌ترین عامل‌های ویرانی زمین است. در میان انواع متفاوت فرسایش آبی، فرسایش خندقی یک نوع بسیار آشکار و شاخص از فرسایش خاک است و از مهم‌ترین چالش‌های تهدیدکننده تهیه غذا، سلامت انسان‌ها و زیست‌بوم است. از آنجایی که اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی، ارتباط مستقیمی با عامل‌های محیطی دارد؛ از این‌رو می‌توان براساس شرایط محیطی، اندازه هدررفت خاک ناشی از خندق‌ها را مدل‌سازی کرد. از سوی دیگر، اندازه‌گیری میدانی اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی، بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر است و اندازه‌گیری مستقیم فرسایش خندقی در سطوح گسترده امکان‌پذیر نیست. در این راستا، این پژوهش، با هدف ارزیابی کارایی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی در آبخیز ماهورمیلاتی در جنوب‌غرب استان فارس انجام شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

استناد: سلیمان‌پور، س.م.، رحمتی، ا.، شادفر، ص.، عنایتی، م. ۱۴۰۴. ارزیابی کارایی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸(۳): ۹۹-۷۸.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368669.1616

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴ دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸ پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۷۸ تا ۹۹.

© نویسندگان

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



مواد و روش‌ها

در بازدیدهای میدانی، موقعیت جغرافیایی تمام خندق‌های موجود در آبخیز ماهورمیلانی، با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد و پس از تطبیق با تصویرهای ماهواره‌ای گوگل‌ارث، این نقاط به محیط GIS منتقل و نقشه پراکنش خندق‌ها رسم شد. سنجه‌های ابعادی ۷۰ خندق، در چهار سال (۱۳۹۹-۱۴۰۲)، شامل: طول خندق، عرض بالا، عرض پایین، و ژرفای خندق اندازه‌گیری میدانی شد و حجم و وزن خاک هدررفته ناشی از فرسایش خندقی نیز محاسبه شد. به منظور فرآیند مدل‌سازی ۱۵ عامل محیطی، به عنوان متغیرهای مستقل (متغیرهای پیش‌بینی کننده) انتخاب شدند. در فرآیند مدل‌سازی، عامل‌های محیطی به عنوان متغیرهای مستقل، و اندازه هدررفت خاک خندق‌ها به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. خندق‌ها به شکل تصادفی به دو گروه آموزش (۷۰٪) و اعتبارسنجی (۳۰٪) تقسیم شدند. مدل‌سازی به وسیله دو مدل ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی، با رویکرد اعتبارسنجی متقاطع انجام شد. دقت مدل‌ها با استفاده از معیارهای کمی خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، شاخص تبیین (R^2)، شاخص خطای RSR و شاخص تطابق (d) بررسی شد.

نتایج و بحث

یافته‌های ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها نشان داد کمترین اندازه خطا از نظر معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، مربوط به مدل ماشین‌بردار پشتیبان بود و بعد از آن مدل شبکه عصبی مصنوعی در جایگاه دوم بود. بر اساس معیار ارزیابی ضریب تبیین (R^2)، مدل ماشین‌بردار پشتیبان ($R^2=0.41-0.59$) در جایگاه اول و مدل شبکه عصبی مصنوعی ($R^2=0.21-0.34$) در جایگاه دوم بود. از نظر معیار ارزیابی شاخص خطای RSR، مدل شبکه عصبی مصنوعی در جایگاه اول و مدل ماشین‌بردار پشتیبان در جایگاه دوم بود. بیشترین اندازه تطابق در میان داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی از نظر شاخص ارزیابی تطابق (d) مربوط به مدل ماشین‌بردار پشتیبان (۰/۸۱) بود و مدل شبکه عصبی مصنوعی با اندازه شاخص تطابق ۰/۶۳ در جایگاه دوم عملکرد بود. از این‌رو، بر پایه نتایج این پژوهش، عملکرد مدل ماشین‌بردار پشتیبان از نظر معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص تبیین و شاخص تطابق، در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی، بهتر بود و به عنوان مدل برتر برای پیش‌بینی اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی در آبخیز ماهورمیلانی استان فارس معرفی شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در ارزیابی عملکرد یک مدل برای شبیه‌سازی یک پدیده متغیرهای پرشماری نقش دارند که باید به آنها توجه کرد. از این‌رو، در این پژوهش، از ۱۵ متغیر محیطی برای پیش‌بینی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی استفاده شد. افزون بر این، با استفاده از متغیرها اطلاعات بسیار مهمی از نظر تغییرات مکانی و زمانی و ویژگی‌های آبخیز، برای مدل فراهم شد. همچنین، در این پژوهش، دوره پایش، بلندمدت نبود؛ اما عملکرد دو مدل استفاده‌شده برای پیش‌بینی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی مناسب بود. از مزیت‌های مهم این پژوهش آن بود که دو مدل استفاده‌شده از میان کارآمدترین مدل‌های هوش مصنوعی انتخاب شدند و با در نظر گرفتن ویژگی‌های تغییرپذیر در زمان، شرایط پیش‌بینی در آینده فراهم شد و از این‌رو در سال‌های آتی، نیازی به اندازه‌گیری میدانی دوباره نیست. در حقیقت، می‌توان از مدل در سال‌های بعد بر اساس یادگیری‌های کسب‌شده در مرحله آموزش و با در نظر گرفتن اطلاعات بارندگی و پوشش گیاهی جدید، مقدار هدررفت خاک ناشی از خندق‌ها را پیش‌بینی کرد. این یافته مهم‌ترین وجه تمایز این پژوهش بود و بیانگر آن است که با مدل‌سازی می‌توان در وقت و هزینه صرفه‌جویی کرد و خدمات ارزنده‌ای به مدیریت حفاظت آب و خاک کشور ارائه داد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود از مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و ساختار یادگیری ماشینی در پژوهش‌های آینده استفاده شود.

واژگان کلیدی

پیش‌بینی، هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی، ماهورمیلانی

مقدمه

فرسایش آبی، یکی از مهم‌ترین عامل‌های ویرانی زمین است. به‌طوری‌که هرساله حدود ۲۶ میلیارد تن خاک در دنیا بر اثر فرسایش خاک از دست می‌رود که این اندازه بیشتر از خاکی است که تشکیل می‌شود (مطیعی‌لنگرودی ۲۰۱۲). اندازه فرسایش خاک در کشورهای گوناگون نشان می‌دهد که بیشترین اندازه فرسایش در کشورهای در حال توسعه رخ داده است و این موضوع یک خطر جدی برای توسعه پایدار و متوازن کشاورزی به‌شمار می‌آید (رفاهی ۲۰۱۷). اگرچه با اطمینان نمی‌توان اندازه قطعی برای فرسایش کل سالانه در کشور بیان کرد؛ اما با در نظر گرفتن برآوردهای متفاوت از یک‌سو و قیاس کیفی وضعیت ایران در نقشه‌های جهانی فرسایش و تولید رسوب (عرب‌خدری ۲۰۲۱)، اندازه فرسایش سالانه کشور، ۸۹۵ میلیون تن (معادل پنج و نیم تن در هکتار در سال) برآورده شده است (عرب‌خدری و همکاران ۲۰۱۸).

در میان انواع متفاوت فرسایش آبی، فرسایش خندقی از مهم‌ترین چالش‌های تهدیدکننده تهیه غذا، سلامت انسان‌ها و زیست‌بوم است (سورای و مارکوویچ ۲۰۰۹). از این‌رو، فرسایش خندقی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و ویرانگرترین شکل نابودی زمین و هدررفت خاک در سراسر جهان شناخته شده است (هین ۲۰۰۷؛ ایگوه و همکاران ۲۰۱۸).

در این راستا، با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران و بروز مشکلات زیادی مانند: فرسایش، سیل، پر شدن آبگیر سدها و غیره، ضروری است تا با بهره‌گیری از مدل‌های نوین مبتنی بر یادگیری ماشینی و هوش مصنوعی، اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی (که اندازه‌گیری آن بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشد) تعیین شود.

از آنجایی که اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی، ارتباط مستقیمی با عامل‌های محیطی دارد؛ از این‌رو می‌توان بر اساس شرایط محیطی، با مدل‌سازی اندازه هدررفت خاک ناشی از خندق‌ها در زمان و هزینه اندازه‌گیری ویژگی‌های خندق‌ها

صرفه‌جویی کرد. افزون بر این، مدل‌های یادگیری ماشینی، مبتنی بر هوش مصنوعی، توانایی زیادی در تجزیه و تحلیل اطلاعات محیطی دارند و با استفاده از آنها می‌توان روابط غیرخطی و پیچیده میان متغیرها را شناسایی کرد. به این دلیل در این پژوهش از آن‌ها برای مدل‌سازی استفاده شد. یکی دیگر از ویژگی‌های مفید این مدل‌ها آن است که برای تجزیه و تحلیل اطلاعات و مدل‌سازی، نیازمند پیش‌فرض‌های آماری نیستند (رحمتی و همکاران ۲۰۱۷). در این راستا، پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل‌های انفرادی و ترکیبی متفاوت از جمله شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌بردار پشتیبان و بیشینه بی‌نظمی، وضعیت استعداد رخداد فرسایش خندقی آبخیز آق‌امام را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده بیشترین دقت پیش‌بینی مدل وزنی ترکیبی ماشین-بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی، در سه تکرار متفاوت بود. در پژوهشی، رحمتی و همکاران (۲۰۱۷) کارایی مدل‌های یادگیری ماشینی متفاوت از جمله شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌بردار پشتیبان را با چهار نوع کرنل متفاوت، درختان وایازی تقویت‌شده و جنگل تصادفی را برای شناسایی مناطق مستعد رخداد فرسایش خندقی در منطقه پلدختر ارزیابی کردند. در این پژوهش، دوازده عامل محیطی متفاوت برای مدل‌سازی فرسایش خندقی انتخاب شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین عملکرد از نظر دقت پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی و کمترین حساسیت نسبت به اندازه نمونه آموزشی مربوط به مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین‌بردار پشتیبان (با کرنل تابع پایه شعاعی) بود. گروسی و همکاران (۲۰۱۸) اثر قدرت تفکیک مکانی و منبع تهیه لایه‌های محیطی بر کارایی مدل‌های هوش مصنوعی در زمینه پیش‌بینی رخداد فرسایش خندقی در آبخیز سد اکباتان را بررسی کردند و دریافتند که می‌توان با لایه‌های محیطی با اندازه سلول ده متر، اطلاعات کافی برای مدل فراهم کرد و در پیش‌بینی رخداد فرسایش خندقی عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و درختان وایازی تقویت‌شده، بهتر بود. در منطقه

چوتاناگپور هند، روی و همکاران (۲۰۲۰) عملکرد مدل‌های شبکه عصبی متفاوت را برای پیش‌بینی استعداد رخداد فرسایش خندقی بررسی کردند و گزارش کردند که بهترین عملکرد مربوط به مدل رویکرد پرسپترون چندلایه بود. در استان گلستان، والی‌پور و همکاران (۲۰۲۱) مدل‌سازی مکانی پیش‌بینی رخداد فرسایش خندقی را با در نظر گرفتن روابط متقابل میان متغیرهای محیطی مؤثر با استفاده از دستورالعمل‌های یادگیری ماشین برای آبخیز گران‌رود انجام دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، به‌ترتیب عملکرد مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان با تابع کرنل شعاعی، درختان وایزی تقویت‌شده و ماشین‌بردار پشتیبان با تابع کرنل خطی، برای شناسایی مناطق حساس به فرسایش خندقی مناسب بود. در منطقه جفرسون ایالت ایلینوی ایالات متحده آمریکا، هن و همکاران (۲۰۲۳) نقشه حساسیت فرسایش خندقی را با استفاده از روش‌های یادگیری ماشینی تهیه کردند. ایشان از مدل‌های جنگل تصادفی، K نزدیک‌ترین همسایه، ماشین‌های تقویت‌کننده شیب و شبکه‌های عصبی عمیق، به‌عنوان مدل‌های پایه استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین دقت در پیش‌بینی مناطق حساس به فرسایش خندقی مربوط به مدل شبکه عصبی عمیق بود. لیو و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از دستورالعمل‌های یادگیری ماشینی حساسیت رخداد فرسایش خندقی در آبخیز سد گلستان ایران را پیش‌بینی کردند و مدل‌های جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌بردار پشتیبان و بیشینه آنتروپی را به‌عنوان دقیق‌ترین مدل‌های پیش‌بینی حساسیت رخداد فرسایش خندقی در منطقه نامبرده معرفی کردند. در پژوهشی، بامو و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی حساسیت فرسایش خندقی در آبخیز تنسیفت دشت هاوز مراکش را کردند. این پژوهشگران مدل‌های XGBoost و KNN را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌ها برای ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی معرفی کردند. آنها مدل‌های جنگل تصادفی، ماشین‌بردار

پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی را در رده‌های بعدی گزارش کردند. جلت و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی حساسیت به فرسایش خندقی را پیش‌بینی کردند. افزون بر این، آنها مناطق مستعد و عامل‌های زمینه‌ای رخداد این پدیده را در آبخیز ارر در کشور اتیوپی را نیز شناسایی کردند. این پژوهشگران از چهار مدل، ماشین‌بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، تقویت شیب شدید و شبکه عصبی مصنوعی بهره گرفتند. یافته‌های این پژوهش نشان داد در پیش‌بینی احتمال رخداد فرسایش خندقی بیشترین دقت و مطلوبیت مربوط به مدل شبکه عصبی مصنوعی و پس از آن مدل جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان و تقویت شیب شدید بود. در استان فارس، مددی و همکاران (۲۰۲۴) کاربرد ماشین‌بردار پشتیبان و درختان وایزی تقویت‌شده در مدل‌سازی حساسیت فرسایش خندقی در آبخیز رود شور شهرستان مهر را بررسی کردند و دریافتند که در پیش‌بینی و مدل‌سازی حساسیت فرسایش خندقی در آبخیز نامبرده توانایی این دو مدل بسیار مناسب بود. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده تاکنون بیانگر آن است که اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی با استفاده از رویکرد مدل‌های یادگیری ماشینی تعیین‌نشده است. از این‌رو، این پژوهش در آبخیز ماهورمیلانی استان فارس با مشکلات پرشمار ناشی از فرسایش خندقی انجام شد. هدف این پژوهش دستیابی به برآورد دقیقی از اندازه هدررفت خاک ناشی از این نوع فرسایش بود. از سوی دیگر، اندازه‌گیری میدانی اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی، بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر است و اندازه‌گیری مستقیم فرسایش خندقی در سطوح گسترده امکان‌پذیر نیست. در این راستا، در این پژوهش، کارایی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان^۱ (SVM) و شبکه عصبی مصنوعی^۲ (ANN)، در مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی ارزیابی شد.

1- Support Vector Machine

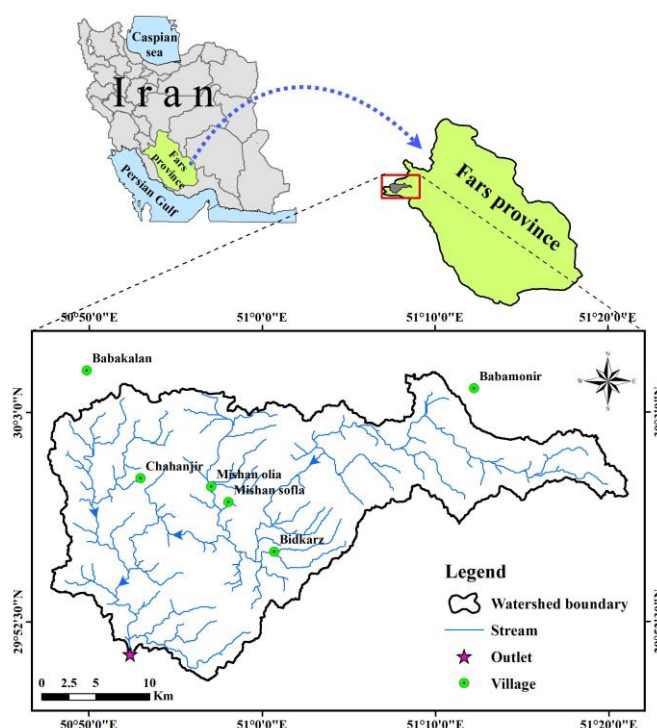
2- Artificial Neural Network

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه‌شده

آبخیز ماهورمیلاتی در جنوب‌غربی استان فارس و در شهرستان ممسنی و در محدوده طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه و ۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۰۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی است (شکل ۱). مساحت این آبخیز، ۷۲۷/۶ کیلومترمربع است. سازند زمین‌شناسی منطقه، آبرفت‌های دوره میوسن، میشان و گچساران است. شکل زمین، تپه‌ماهور و میانگین بلندی از سطح دریا

۶۲۰ متر است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن گسترده، نیمه‌خشک معتدل است (صوفی ۲۰۰۴). میانگین بارندگی سالانه این منطقه، بر اساس آمار ۱۸ ساله ایستگاه آبدگاه، برابر با ۶۴۵ میلی‌متر است (تارنمای اداره کل هواشناسی استان فارس ۲۰۲۴). روستاهای میشان علیا، میشان سفلی، چاه انجیر و بیدگارز از روستاهای اصلی این آبخیز به‌شمار می‌آیند. خروجی آب‌شناختی این آبخیز در قسمت جنوب‌غربی است و الگوی شبکه زهکشی آن، شاخه درختی شکسته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده.

Figure 1- Geographical location of the study area.

روش پژوهش

در ابتدا موقعیت تمام خندق‌های موجود در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس با انجام بازدیدهای میدانی و با استفاده از دستگاه GPS، ثبت شد (شکل ۲). در گام بعد، این نقاط با تصویرهای ماهواره‌ای گوگل‌ارث تطبیق داده شد و به محیط GIS منتقل شد و نقشه پراکنش خندق‌ها رسم شد. سپس، سنج‌های ابعادی

خندق‌ها در چهار سال (۱۳۹۹-۱۴۰۲) شامل: طول خندق، عرض بالا، عرض پایین، و ژرفای خندق (شکل ۲)، مبتنی بر پژوهش کاسالی و همکاران (۲۰۰۶)، اندازه‌گیری شدند. شایان ذکر است برای رعایت هم‌زمانی اندازه‌گیری‌ها، تمام اندازه‌گیری‌های میدانی در پایان هر سال (اسفند)، انجام شد.



شکل ۲- اندازه‌گیری‌های میدانی خندق‌های مطالعه‌شده (به ترتیب از راست به چپ: ثبت موقعیت جغرافیایی خندق‌ها با استفاده از دستگاه GPS، اندازه‌گیری عرض بالا، عرض پایین و ژرفای خندق‌ها).

Figure 2 - Field measurements of the studied gullies (from right to left: recording the geographical location of the gullies using a GPS device, measuring the upper width, lower width, and depth of the gullies).

شد (شکل ۳) و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه تخصصی فرسایش و رسوب، جرم مخصوص ظاهری نمونه‌ها اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها محاسبه شد.

در روند اندازه‌گیری‌های میدانی، از دیواره‌های چپ، راست، پیشانی و خروجی هر خندق، نمونه‌های خاک به وسیله استوانه‌های فلزی استاندارد (کور) برداشت



شکل ۳- نمونه‌برداری خاک از پیشانی خندق به وسیله استوانه فلزی استاندارد.

Figure 3 - Soil sampling from the headcut of the gully using a standard metal cylinder.

$$CA = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{W_1 + W_2}{2} \right) D \right) \quad (1)$$

CA: سطح مقطع عرضی خندق (مترمربع)، W_1 : عرض بالای خندق (متر)، W_2 : عرض پایین خندق (متر)، و D: ژرفای خندق (متر) است.

سپس، سطح مقطع عرضی خندق^۱، با استفاده از رابطه (۱) در سه مقطع زمانی متفاوت (سال اول، سال دوم و سال سوم)، برای هر خندق محاسبه شد (تیبو و همکاران ۲۰۱۰).

1- Cross-sectional Area

فرآیند مدل‌سازی انتخاب شدند. این عامل‌ها عبارت بودند از: بلندی، درجه شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، کاربری زمین، فاصله از جاده، انحنای سطح، شاخص موقعیت شیب نسبی، بافت خاک، توزیع مکانی اندازه بارندگی (در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲)، فراوانی بارش بیش از پنج میلی‌متر (در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲)، شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی (در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲).

شایان ذکر است مقیاس مکانی تهیه نقشه‌های بلندی، شیب، جهت، انحنای سطح، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، تراکم زهکشی و فاصله از جریان، ۱:۵۰۰۰۰ بودند و بر اساس نقشه‌های پایه پستی‌بلندی تهیه شدند. نقشه بلندی، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه شد. مقیاس نقشه‌های خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و بارندگی نیز در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شدند. در عامل خاک‌شناسی، بافت خاک مد نظر بود. به این منظور، نمونه‌های خاک از بخش‌های متفاوت آبخیز مطالعه شده جمع‌آوری شد و آزمایش بافت انجام شد. همچنین، نقشه بافت خاک با استفاده از سامانه گوجل ارث انجین، پردازش و تهیه شد. به منظور اطمینان از نقشه تولید شده، طبقه‌های نقشه بافت خاک، با داده‌های بافت خاک آزمایشگاهی انطباق داده شد تا از صحت نقشه بافت خاک اطمینان به دست آید. همچنین، در عامل زمین‌شناسی، واحدهای سنگ‌شناسی مد نظر بود. از دیدگاه پوشش گیاهی، شاخص بهنجار شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد. اندازه بارندگی سالانه و تعداد بارندگی‌های بیشتر از پنج میلی‌متر نیز استفاده شد. دلیل انتخاب این عامل‌ها این بود که عامل‌های پستی‌بلندی از جمله: بلندی، شیب، جهت، انحنای سطح و شاخص موقعیت شیب نسبی، تأثیر به‌سزایی در فرآیندهای آب‌شناختی و فرسایش دارند و از این رو به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده شدند. وضعیت خاک‌شناسی نیز یکی از عامل‌های مهم در

حجم خاک هدررفته ناشی از فرسایش خندقی، با استفاده از رابطه ۲ برای هر خندق محاسبه شد (تبیو و همکاران ۲۰۱۰).

$$V = \sum_{i=1}^n L \left[\left(\left(\frac{W_1 + W_2}{2} \right) D \right) \right] \quad (2)$$

V : حجم خاک از دست‌رفته ناشی از فرسایش خندقی (مترمکعب)، L : طول خندق (متر)، W_1 : عرض بالای خندق (متر)، W_2 : عرض پایین خندق (متر)، و D : ژرفای خندق (متر) است.

سپس، وزن خاک از دست‌رفته ناشی از فرسایش خندقی محاسبه شد. به این ترتیب که اندازه حجم خاک از دست‌رفته در هر خندق (V)، در جرم مخصوص ظاهری خاک هر خندق ضرب شد و پس از جمع اندازه‌های خندق‌ها، وزن خاک فرسایش‌یافته ناشی از فرسایش خندقی در این آبخیز محاسبه شد. باید توجه داشت که اندازه وزن هدررفت خاک به‌دست آمده در سال اول اندازه‌گیری (۱۳۹۹)، مربوط به تاریخچه عمر خندق بود. به بیان دیگر، وزن هدررفت خاک از ابتدای شکل‌گیری خندق تا سال ۱۳۹۹ محاسبه شد و اطلاعات هندسی اندازه‌گیری‌شده خندق‌ها در سال ۱۳۹۹ مبنای محاسبه اندازه هدررفت خاک در سال‌های بعدی (۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) بود و به این شکل، امکان تعیین اندازه هدررفت خالص سالانه فراهم شد؛ مثلاً، اندازه‌های حجم خندق و وزن هدررفت خاک به‌دست آمده از ابعاد اندازه‌گیری‌شده در سال ۱۴۰۰ به‌شکل تجمعی بود و اندازه خالص اندازه هدررفت خاک مربوط به سال ۱۴۰۰ با استفاده از تفاضل اندازه‌های سال ۱۴۰۰ و سال قبل (۱۳۹۹) به‌دست آمد و برای سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ نیز به همین ترتیب انجام شد. سپس، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برآورد فرسایش خندقی تعیین شد. از آنجایی که اندازه هدررفت خاک ناشی از خندق‌ها تحت تأثیر عامل‌های پرشماری است و تاکنون چارچوب دقیقی برای تعیین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده تعیین نشده است؛ در این پژوهش بر مبنای پژوهش گذشته، ۱۵ عامل محیطی، به عنوان متغیرهای مستقل (متغیرهای پیش‌بینی‌کننده) برای

آبی است و به‌منظور برآورد هدررفت خاک، بایستی به‌عنوان یکی از عامل‌های مهم پیش‌بینی‌کننده در نظر گرفته شود. شایان ذکر است لایه‌های اطلاعاتی تمام این متغیرها در سامانه اطلاعات جغرافیایی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد.

در فرآیند مدل‌سازی، عامل‌های محیطی به‌عنوان متغیرهای مستقل، و اندازه هدررفت خاک خندق‌ها به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. تمام خندق‌های بررسی‌شده به‌شکل تصادفی به دو گروه آموزش (۷۰٪) و اعتبارسنجی (۳۰٪) تقسیم شدند. مدل‌سازی در این پژوهش با رویکرد اعتبارسنجی متقاطع انجام شد و داده‌ها به سه گروه تقسیم شدند. با توجه به این که داده‌های میدانی در چهار سال (۱۴۰۲-۱۳۹۹) اندازه‌گیری شد و سال اول اندازه‌گیری (۱۳۹۹)، به‌عنوان مبنا بود؛ در نتیجه داده‌های اندازه‌گیری سه سال بعد (۱۴۰۲-۱۴۰۰)، برای مدل‌سازی انتخاب شدند. به این منظور، هر بار یکی از سال‌ها به‌عنوان داده‌های اعتبارسنجی حذف شد و آموزش مدل‌ها با دو سال باقی‌مانده انجام شد. گروه داده‌های در نظر گرفته‌شده برای ساخت و اعتبارسنجی مدل‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

رخداد و گسترش فرسایش خندقی است؛ به‌گونه‌ای که سرعت رشد خندق‌ها در خاک‌های حساس بسیار بیشتر است. عامل سنگ‌شناسی نیز همواره اندازه حساسیت واحد سنگ‌شناسی به فرسایش را تعیین می‌کند و می‌توان بر اساس آن اطلاعات مفیدی برای برآورد فرسایش خندقی را ارائه داد. همچنین، از آنجایی که جریان‌ها (زهکش‌ها) جریان‌های سطحی و زیرسطحی محدوده‌های پیرامون و بالادست خندق‌ها را جمع‌آوری می‌کنند؛ همگرایی جریان‌ها ظرفیت زیادی برای رخداد و رشد فرسایش خندقی دارند. از این‌رو، عامل فاصله از جریان، به‌عنوان یکی از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده انتخاب شد. تراکم زهکشی نیز نشان‌دهنده اندازه تراکم جریان‌ها در واحد سطح منطقه است و بر اندازه فرسایش خاک و فرآیندهای آب‌شناختی تأثیرگذار است. شاخص رطوبت پستی‌بلندی نیز به‌عنوان یک شاخص ترکیبی پستی‌بلندی-آب‌شناختی در نظر گرفته شد که با استفاده از آن می‌توان اندازه جریان بالادست پیکسل و وضعیت شیب پیکسل را همزمان بررسی کرد و اندازه جریان بالقوه را محاسبه کرد و شرایط نفوذ را نشان داد. بارندگی نیز از عامل‌های اصلی رخداد فرسایش

جدول ۱- رویکرد اعتبارسنجی متقاطع به‌منظور تفکیک داده‌ها.

Table 1 - Cross-validation approach for data separation.

Group	Training data	Validation data
First (M_1)	2022 and 2023	2024
Second (M_2)	2022 and 2024	2023
Third (M_3)	2023 and 2024	2022

ابتدا تمام لایه‌های رقومی عامل‌های تأثیرگذار بر رخداد و رشد خندق که به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل‌سازی انتخاب‌شده بودند، به ساختار رستری (با اندازه پیکسل برابر) تبدیل شدند. سپس، اطلاعات مکانی هدررفت خاک خندق‌های گروه آموزش (واسنجی) که در حقیقت به‌عنوان متغیر وابسته در این پژوهش انتخاب‌شده بودند، نیز به‌شکل ساختار رستری در محیط GIS تهیه شد. برای اجرای مدل ماشین‌بردار پشتیبان، تمام لایه‌های رستری ساخته‌شده وارد نرم‌افزار Matlab شد. پس از انجام

در این پژوهش، از دو مدل متفاوت یادگیری ماشینی مبتنی بر هوش مصنوعی شامل: ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. چگونگی بکارگیری این مدل‌ها به‌منظور پیش‌بینی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی به این شرح است.

مدل ماشین‌بردار پشتیبان

مدل ماشین‌بردار پشتیبان، یکی از مدل‌های ماشینی یادگیری نظارت‌شده است که به‌منظور طبقه‌بندی تفکیک گروه‌ها به کار می‌رود. برای به‌کارگیری این مدل در مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از خندق‌ها،

بررسی های اولیه، اطلاعات متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، مدل ماشین بردار پشتیبان برنامه نویسی شد و در محیط نرم افزار R اجرا شد. مدل ماشین بردار پشتیبان با چهار نوع تابع کرنال متفاوت، خطی^۱، چندجمله ای^۲، تابع پایه شعاعی^۳ (RBF) و هلالی^۴ است که در این پژوهش، رایج ترین کرنال مدل ماشین بردار پشتیبان، یعنی تابع پایه شعاعی، استفاده شد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

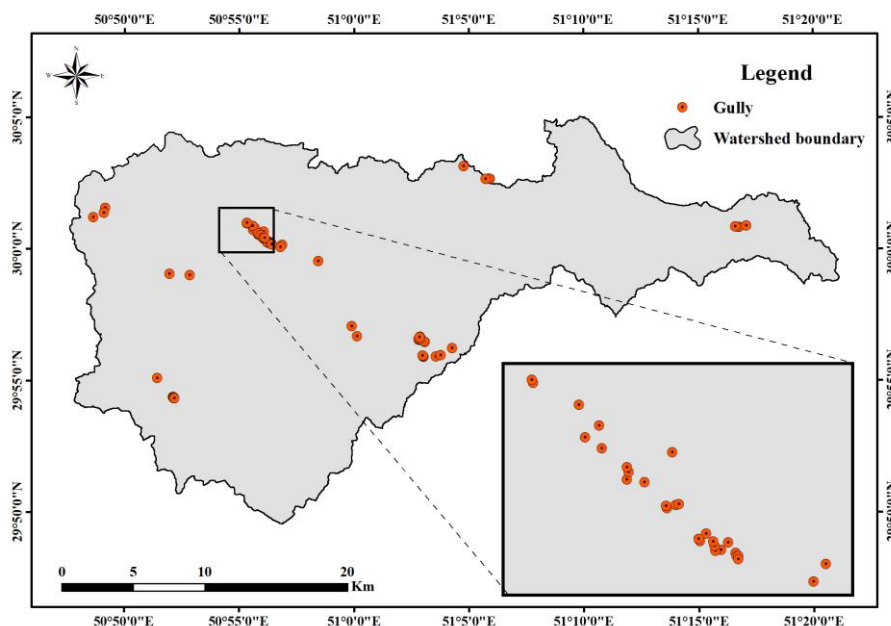
مدل شبکه عصبی مصنوعی، یک روش مناسب برای حل مسائل پیچیده است که تاکنون روابط و قوانین مشخصی برای تحلیل آن ها یافت نشده است. یکی از قابلیت های مهم شبکه های عصبی مصنوعی، درک و تحلیل رفتار غیرخطی یک ساختار است. شبکه های عصبی مانند شبکه عصبی طبیعی از اجزایی به نام سلول عصبی تشکیل شده اند. این سلول ها بسته به نوع مدل شبکه عصبی مصنوعی، با ساختار و ترتیب خاصی با یکدیگر ارتباط دارند. یکی از متداول ترین مدل های شبکه عصبی مصنوعی، مدل شبکه پرسپترون چندلایه است که در آن سلول های عصبی در لایه های موازی هستند. این ساختار چندلایه شامل لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. به منظور دستیابی به یک مدل کارا تر، ساختارهای متفاوت باید ارزیابی شوند و از بهترین ساختار در مدل استفاده شود. فرایندهای طبیعی مانند رخداد و گسترش فرسایش خندقی نیز بسیار پیچیده است که شناخت روابط میان عامل های محیطی و این فرایندها نیز دشوار است. در این پژوهش، به منظور برآورد هدررفت خاک ناشی از خندق ها، از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده شد.

شایان ذکر است در این گام بر اساس داده های گروه آموزش (۷۰٪ داده ها)، آموزش مدل ها یا واسنجی انجام شد تا مدل ها بتوانند روابط میان متغیرهای پیش بینی کننده و اندازه هدررفت خاک خندق ها را شناسایی کنند. سپس، اندازه دقت مدل برای پیش بینی مبتنی بر داده های گروه اعتبارسنجی (۳۰٪ داده ها) بررسی شد که با عنوان صحت سنجی یا اعتبارسنجی مطرح می شود. از آنجایی که خندق های گروه اعتبارسنجی در آموزش مدل ها استفاده نشد؛ تعیین دقت پیش بینی مدل ها براساس آن ها، یک معیار مهم در ارزیابی دقت پیش بینی مدل ها بود. سرانجام، پس از تعیین دقت مدل های متفاوت، شرایط برای مقایسه کمی مدل ها و تعیین مدل برتر برای پیش بینی هدررفت خاک فراهم شد. دقت مدل ها در این مرحله نیز با استفاده از معیارهای کمی خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، شاخص تبیین (R^2)، شاخص خطای RSR (نسبت RMSE به انحراف معیار داده های مشاهده ای) و شاخص تطابق (d) بررسی شد. اندازه های کمتر خطای جذر میانگین مربعات، بیانگر عملکرد بهتر مدل بود و اندازه های بیشتر شاخص های تبیین، خطای RSR و تطابق، نشان دهنده عملکرد بهتر مدل بود.

نتایج و بحث

نقشه موقعیت مکانی خندق ها در آبخیز ماهورمیلانی استان فارس در شکل ۴ ارائه شده است. بر اساس بازدیدهای پرشمار میدانی و تطبیق با تصاویرهای ماهواره ای گوگل ارث، ۷۰ خندق شناسایی شده در این آبخیز مبنای اندازه گیری ها شدند.

-
- 1- Linear
 - 2- Polynomial
 - 3- Radial basis function
 - 4- Sigmoid



شکل ۴- نقشه موقعیت مکانی خندق‌های موجود در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس.

Figure 4 - Location map of gullies in the Mahurmilati watershed of Fars Province.

کنگلومرا ضخیم و سخت همراه با ماسه‌سنگ کم هوازده) و Qft2 (رسوبات آبراهه‌ای و مخروط افکنه‌ای) در این آبخیز بود. تنوع سنگ‌شناسی این آبخیز، نسبتاً زیاد بود و هر واحد گاه‌ها در چند قسمت از منطقه مشاهده شد. بیشترین مساحت مربوط به واحدهای Mgs از سازند گچساران (۴۵/۸٪)، Mmn از سازند میشان (۲۵/۴۵٪) و MuPlaj از سازند آغاچاری (۲۳/۴٪) بود. در نقشه فاصله از آبراهه، فاصله پیکسل-ها از نزدیک‌ترین آبراهه از صفر تا ۲۸۴۳ متر متغیر بود. شبکه زهکشی قسمت‌های نزدیک خروجی، متراکم‌تر بود و فاصله پیکسل‌ها تا آبراهه‌ها (در مقایسه با بخش‌های بالادست) کمتر بود. در نقشه تراکم زهکشی، شکل الگوی شبکه زهکشی این آبخیز در برخی از قسمت‌ها متراکم‌تر بود. اندازه تراکم زهکشی در بخش‌های متفاوت، از صفر تا ۱/۹۱ کیلومتر بر کیلومتر مربع متغیر بود. بیشترین تراکم زهکشی در بخش‌های مرکزی، غربی و شمال شرقی مشاهده شد. بر اساس نقشه شاخص رطوبت پستی-بلندی، بیشترین اندازه رطوبت پستی-بلندی مربوط به بخش‌های مرکزی و شمالی این آبخیز بود. اندازه شاخص رطوبت پستی-بلندی از ۱/۵ تا ۲۰/۶۵ متغیر بود. با توجه به

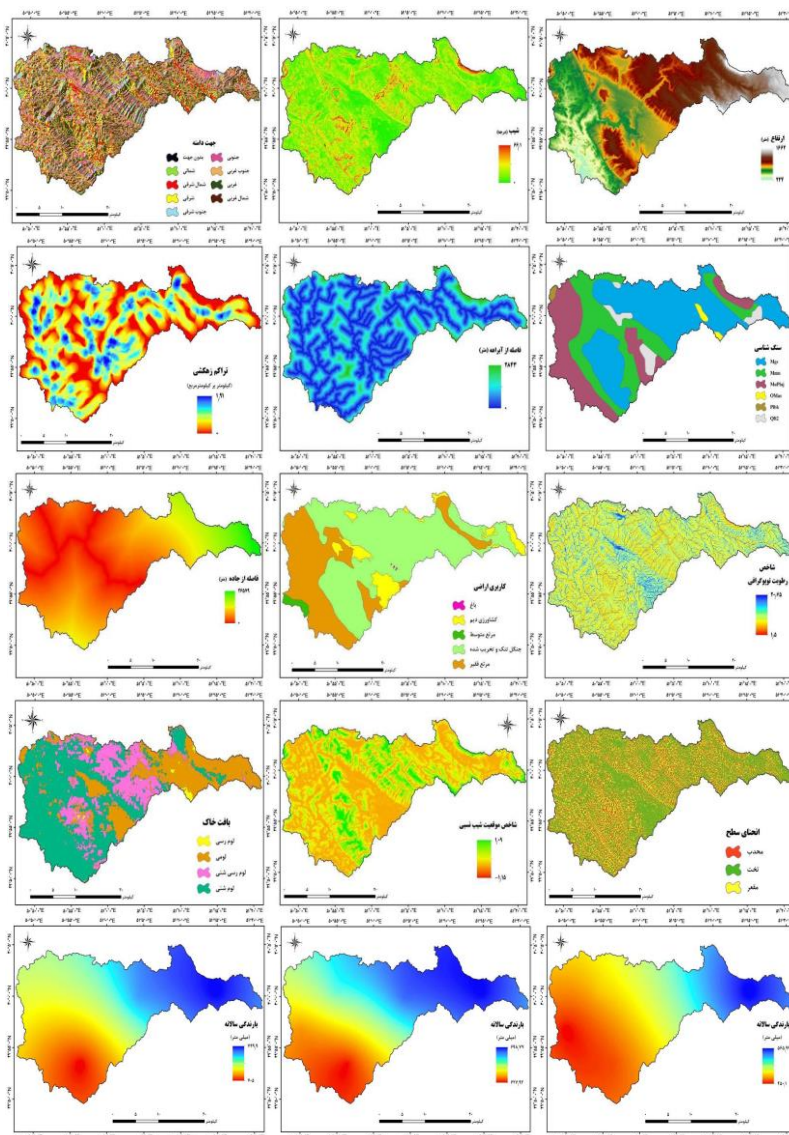
نقشه ۱۵ عامل محیطی، به‌عنوان متغیرهای مستقل (متغیرهای پیش‌بینی‌کننده) در شکل ۵ ارائه شده است. نقشه بلندی، نشان داد تغییرات بلندی در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس نسبتاً زیاد است و از ۲۲۴ متر در قسمت جنوب‌غربی تا ۱۶۶۲ در قسمت شمالی متغیر بود. ناهمواری‌های پراکنده‌ای نیز در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دیده شد. در نقشه درجه شیب نیز، کمترین شیب صفر درجه و در قسمت بزرگی از آبخیز مشاهده شد در حالی که بیشترین شیب ۶۶/۱ درجه بود که در قسمت‌های شمال‌شرقی، مرکزی و غربی بودند. در نقشه جهت دامنه، تنوع و تغییرات مکانی زیادی در پراکنش دامنه‌های متفاوت در سطح این آبخیز مشاهده شد. بیشترین مساحت در این آبخیز مربوط به طبقه‌های جنوب‌غربی (۱۶/۳۵٪)، غربی (۱۴/۱٪) و جنوبی (۱۴٪) بود. نقشه سنگ‌شناسی بیانگر وجود واحدهای mgs (مارن قرمز و خاکستری همراه با رگه‌های نمک و متناوب با سنگ آهک و انیدریت)، Mmn (مارن خاکستری کم هوازده متناوب با سنگ آهک و شیل) و MuPlaj (ماسه‌سنگ آهک-دار قهوه‌ای و خاکستری، رگه‌های گچ، مارن‌های قرمز و سیلتستون)، OMAs (آهک همراه با شیل)، Plbk و

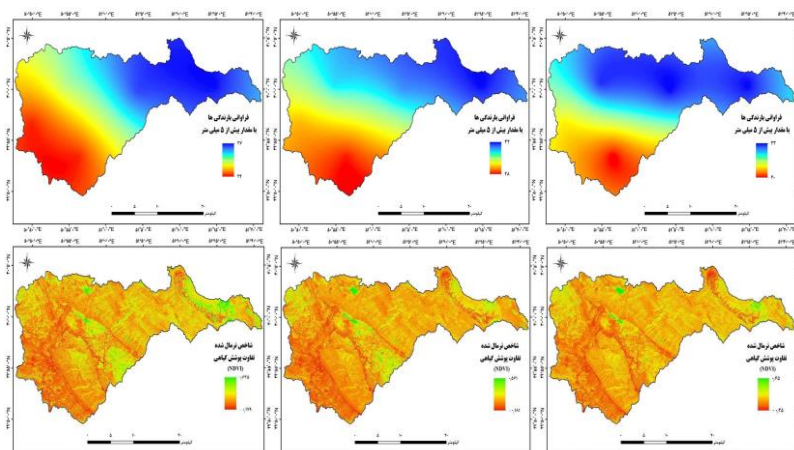
ناهمواری نسبتاً زیاد این آبخیز، اندازه‌های شاخص رطوبت پستی‌بلندی متفاوتی در هر بخش، مشاهده شد. بر پایه نقشه کاربری زمین در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس، پنج نوع کاربری گوناگون تعیین شد که عبارتند از: باغ، کشاورزی دیم، جنگل تنک و ویران-شده، مرتع متوسط و مرتع فقیر. بیشترین مساحت این آبخیز مربوط به جنگل‌های تنک و ویران‌شده و مراتع فقیر بود که شرایط را برای رخداد انواع فرسایش‌ها فراهم آورده‌اند. بر اساس نقشه فاصله از جاده، در این آبخیز، تعداد اندکی جاده وجود داشت که این جاده‌ها در قسمت غربی بودند. اندازه فاصله از جاده، صفر تا ۲۶۵۷۹ متر به‌دست آمد. بخش‌های شرقی، بدون جاده اصلی بودند و جاده‌های خاکی نیز محدود بود. بر پایه نقشه انحناى سطح، تغییرات مکانی از دیدگاه وضعیت انحناى سطح در این آبخیز قابل توجه بود. به‌طوری‌که این آبخیز به سه طبقه محدب، تخت و مقعر تقسیم‌بندی شد. طبقه تخت، بیشتر در بخش مرکزی و غربی مشاهده شد و دامنه‌های مقعر و محدب به‌ترتیب در قسمت‌های جنوب‌غربی و شمال‌شرقی بودند. بیشترین مساحت و رتبه نخست از دیدگاه گسترش مکانی مربوط به طبقه مسطح (۴۴٪) بود. طبقه‌های مقعر و محدب نیز به‌ترتیب با مساحت-های ۳۰ و ۲۶٪، در جایگاه‌های دوم و سوم بودند. بر اساس نقشه شاخص موقعیت شیب نسبی، تغییرات مکانی وضعیت این شاخص متغیر بود. قله‌ها در قسمت‌های میانی (رنگ سبز)، طبقه‌های شیب فوقانی، شیب میانی و شیب تحتانی در بخش‌های میانی، شرقی و غربی بودند. طبقه‌های پای شیب، در بخش-های مجاور شبکه زهکشی و قسمت‌های دشتی و میانه این آبخیز مشاهده شد. نقشه توزیع مکانی اندازه بارندگی سالانه در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس در سال ۱۴۰۰ با تغییرات مکانی همراه بود. کمترین اندازه بارندگی ۴۵۰/۱ میلی‌متر و بیشترین اندازه آن ۵۶۵/۹۹ میلی‌متر ثبت شد. اندازه‌های کمتر بارندگی در نواحی جنوب و جنوب‌غربی و اندازه‌های بیشتر در نواحی شرق و شمال‌شرقی رخ داده است. توزیع مکانی اندازه بارندگی در سال ۱۴۰۱ با تغییرات مکانی همراه

بود. اندازه بارندگی در این آبخیز از ۶۲۷/۹۲ تا ۶۹۸/۷۷ میلی‌متر متغیر بود. اندازه‌های کمتر بارندگی در نواحی جنوب و جنوب‌غربی و اندازه‌های بیشتر در نواحی شمال و شمال‌شرقی رخ داد. توزیع مکانی اندازه بارندگی سالانه در سال ۱۴۰۲ نشان داد اندازه بارندگی در این آبخیز با تغییرات مکانی همراه بود. کمترین اندازه بارندگی ۷۰۵ میلی‌متر و بیشترین اندازه آن ۷۴۹/۹ میلی‌متر بود. بر پایه این یافته‌ها، کمترین اندازه بارندگی در سال ۱۴۰۲ در قسمت جنوبی و بیشترین اندازه آن در قسمت شمال‌شرقی و شمال این آبخیز ثبت شد. نقشه فراوانی بارندگی‌های با اندازه بیشتر از پنج میلی‌متر در سال ۱۴۰۰ در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس نشان داد بخش جنوبی این آبخیز با ۲۰ رخداد بارندگی بیشتر از پنج میلی‌متر، کمترین فراوانی را کسب کرد. از سوی دیگر، در بخش‌های شمالی این آبخیز ۲۳ رخداد بارندگی با اندازه بیشتر از پنج میلی‌متر در سال ۱۴۰۰ ثبت شد. اندازه‌های فراوانی دیگر قسمت‌های این آبخیز با میانگین ۲۱ تا ۲۲ رخداد ثبت شد. بر اساس داده‌های ثبت‌شده می‌توان گفت تعداد رخدادها نزدیک به هم و بارش‌های سنگین در بخش‌های جنوبی و مرکزی، کمتر بود. نقشه فراوانی بارندگی‌های با اندازه بیشتر از پنج میلی‌متر در سال ۱۴۰۱ در این آبخیز نشان داد کمترین فراوانی رخداد این نوع بارندگی‌ها در قسمت جنوبی این آبخیز با ۲۸ رخداد، و بیشترین فراوانی آن در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی با ۳۲ رخداد ثبت شد. بر پایه این یافته‌ها، در این آبخیز، فراوانی رخداد بارش‌های با اندازه بیشتر از پنج میلی‌متر در سال ۱۴۰۱ در مقایسه با سال ۱۴۰۰ افزایش یافت. نقشه فراوانی بارندگی‌های با اندازه بیشتر از پنج میلی‌متر در سال ۱۴۰۲ در آبخیز ماهورمیلاتی نشان داد کمترین و بیشترین فراوانی بارش‌های با اندازه بیش از پنج میلی‌متر بارندگی، به‌ترتیب ۲۴ و ۲۷ رخداد بود. در سال ۱۴۰۲، کمترین فراوانی این نوع بارش‌ها در قسمت جنوب‌غربی و بیشترین فراوانی در قسمت شمالی این آبخیز رخ داد. نقشه‌های شاخص بهنجارشده تفاوت پوشش گیاهی در سال ۱۴۰۰ نشان

۰/۱۷۹- تا ۰/۶۳۵ متغیر بود. کمترین اندازه‌ها در جنوب و جنوب غرب و بیشترین اندازه‌ها در شمال شرق این آبخیز ثبت شد. اندازه‌های میانه و انحراف معیار نمودار توزیع فراوانی، به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۰۸ به دست آمد. بر پایه نقشه بافت خاک در این آبخیز، چهار نوع طبقه بافت خاک ثبت شد. بافت خاک ۵۰/۱۴٪ از سطح این آبخیز، لوم‌شنی بود و به عنوان بافت غالب در این آبخیز معرفی شد. پس از آن، بافت لومی با ۲۷/۵۲٪ و بافت لوم‌رسی‌شنی با ۲۱/۳۶٪ در رتبه‌های دوم و سوم بودند و بافت لوم‌رسی، کمتر از یک درصد از مساحت این آبخیز را در بر گرفته است.

داد اندازه این شاخص در سال ۱۴۰۰ از ۰/۲۷- تا ۰/۶۵ متغیر بود. اندازه میانه این شاخص ۰/۱۳۷ و اندازه انحراف معیار آن ۰/۰۵۲ به دست آمد. به دلیل شرایط محیطی (از جمله خاک‌شناسی و هواشناسی)، پوشش گیاهی در بیشتر قسمت‌های این آبخیز، به ویژه نواحی جنوبی و جنوب غربی، ضعیف بود. این اندازه در سال ۱۴۰۱ میان ۰/۱۸۱- و ۰/۵۶۱ متغیر بود. کمترین اندازه‌ها در جنوب و جنوب غربی این آبخیز مشاهده شد. اندازه‌های میانه و انحراف معیار نمودار توزیع فراوانی به ترتیب ۰/۱۱۷ و ۰/۰۴۷ به دست آمد. همچنین، اندازه این شاخص در سال ۱۴۰۲ از



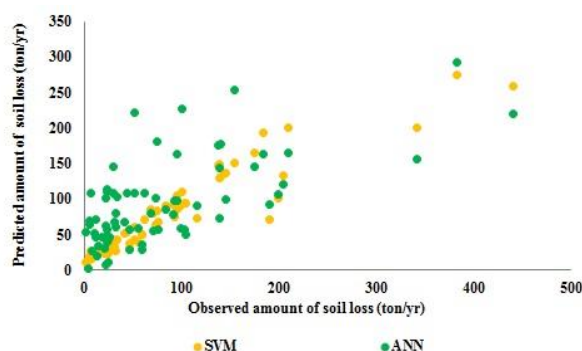


شکل ۵- نقشه‌های عامل‌های محیطی مؤثر بر هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس (از راست به چپ: نقشه بلندی، درجه شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، کاربری زمین، فاصله از جاده، انحنا سطح، شاخص موقعیت شیب نسبی، بافت خاک، توزیع مکانی اندازه بارندگی در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲، فراوانی بارش بیش از پنج میلی‌متر در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲، شاخص بهنجارشده پوشش گیاهی در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲).

Figure 5- Maps of environmental factors affecting soil loss due to gully erosion in the Mahurmilati Watershed of Fars Province (from right to left: elevation map, slope degree, slope direction, lithology, distance from watercourse, drainage density, topographic moisture index, land use, distance from road, surface curvature, relative slope position index, soil texture, spatial distribution of rainfall amount 2022 to 2024, frequency of rainfall more than five mm 2022 to 2024, normalized vegetation cover index 2022 to 2024).

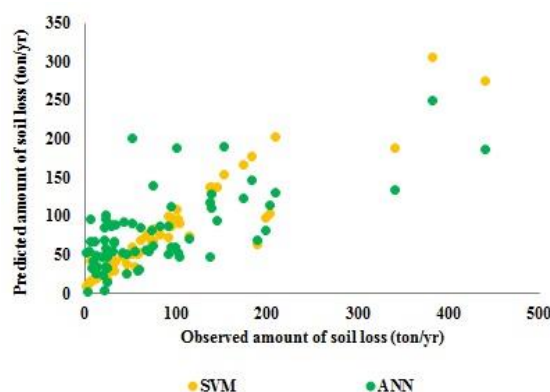
نمودارهای پراکنش داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی در مرحله آموزش و با رویکردهای تقسیم داده اول (M_1)، دوم (M_2) و سوم (M_3) در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس تهیه شد. نتایج این نمودارها در شکل‌های ۶ تا ۸ ارائه شده است.

نتایج اندازه هدررفت خاک ناشی از خندقی‌های موجود در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس، در بازه زمانی سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲، ۱۵۳۰۰/۹۴ تن بود. از این‌رو، میانگین هدررفت خاک هر خندق در سه سال مطالعه شده، ۲۱۸/۵۸ تن، بود که این داده برای حفاظت از منابع ارزشمند خاک کشور بسیار تأمل‌برانگیز و نگران‌کننده است.



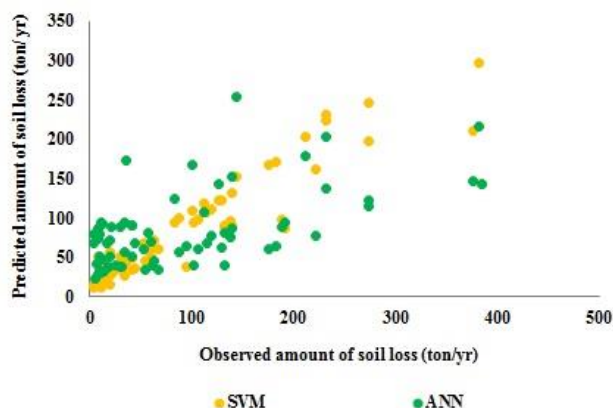
شکل ۶- نمودار اندازه‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی هدررفت خاک در مرحله آموزش با رویکرد تقسیم داده M_1 در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس.

Figure 6- Diagram of observed and predicted soil loss values in the training phase with the M_1 data partitioning approach in the Mahurmilati Watershed of Fars Province.



شکل ۷- نمودار اندازه‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی هدررفت خاک در مرحله آموزش با رویکرد تقسیم داده M₂ در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس.

Figure 7- Diagram of observed and predicted soil loss values in the training phase with the M₂ data partitioning approach in the Mahurmilati Watershed of Fars Province.



شکل ۸- نمودار اندازه‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی هدررفت خاک در مرحله آموزش با رویکرد تقسیم داده M₃ در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس.

Figure 8- Diagram of observed and predicted soil loss values in the training phase with the M₃ data partitioning approach in the Mahurmilati Watershed of Fars Province.

دیدگاه علمی و فنی فراهم نیست. با توجه به این‌که داده‌های گروه آموزش در اختیار مدل است، عملکرد مدل‌ها بر اساس دقت مدل در مرحله آموزش قابل قضاوت نیست. اما بر اساس نتایج به‌دست آمده، هر دو مدل استفاده‌شده در این پژوهش، قابلیت ورود به مرحله بعدی را داشتند و با در نظر گرفتن شرایط محیطی، از آنها برای پیش‌بینی اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی بهره‌گیری شد.

نتایج ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی، در رویکردهای متفاوت در مرحله آموزش (واسنجی) در جدول ۲ ارائه شده است. شایان ذکر است دقت این دو مدل در این مرحله، صرفاً برای اطمینان از برآزش داده‌ها و آموزش دیدن مدل‌ها بررسی شد. زیرا، مدلی در این مرحله، آموزش کافی ندیده باشد؛ امکان پیش‌بینی و تعمیم آن به داده‌هایی که در اختیار مدل نیستند، از

جدول ۲- ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها در مرحله آموزش در آبخیز ماهورمیلانی استان فارس.

Table 2- Evaluation of the prediction accuracy of models in the training phase in the Mahurmilati Watershed of Fars Province.

Evaluation criteria	Data approach	SVM	ANN
RMSE	M ₁	41.31	71.00
	M ₂	34.13	55.84
	M ₃	37.37	63.67
R ²	M ₁	0.85	0.41
	M ₂	0.84	0.42
	M ₃	0.83	0.36
RSR	M ₁	0.46	0.78
	M ₂	0.46	0.76
	M ₃	0.47	0.80
d	M ₁	0.93	0.75
	M ₂	0.92	0.75
	M ₃	0.92	0.68

معیار ارزیابی شاخص خطای RSR، مدل شبکه عصبی مصنوعی در جایگاه اول و مدل ماشین‌بردار پشتیبان در جایگاه دوم بود. بیشترین تطابق از نظر شاخص ارزیابی تطابق (d) مربوط به مدل ماشین‌بردار پشتیبان (۰/۸۱) در میان داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی بود و مدل شبکه عصبی مصنوعی با اندازه شاخص تطابق ۰/۶۳ در جایگاه دوم بود. از این‌رو، در این پژوهش، از آنجایی که عملکرد مدل ماشین‌بردار پشتیبان از نظر معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص تبیین و شاخص تطابق، در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی بهتر بود و به‌عنوان مدل برتر برای پیش‌بینی اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی در آبخیز ماهورمیلانی استان فارس معرفی شد.

ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها فقط بر اساس مقایسه داده‌های مشاهده‌ای گروه اعتبارسنجی و داده‌های برآوردی مدل‌ها قابل ارزیابی بود. زیرا، مدل در این مرحله، داده‌های اندازه هدررفت خاک گروه اعتبارسنجی را ندارد. نتایج ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها در آبخیز ماهورمیلانی استان فارس برای رویکردهای متفاوت تقسیم داده در مرحله اعتبارسنجی و بر اساس معیارهای ارزیابی متفاوت در جدول ۳ ارائه شده است. کمترین اندازه معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مربوط به مدل ماشین‌بردار پشتیبان بود و بعد از آن مدل شبکه عصبی مصنوعی در جایگاه دوم بود. بر اساس معیار ارزیابی ضریب تبیین (R²)، مدل ماشین‌بردار پشتیبان (R²=۰/۴۱-۰/۵۹) در جایگاه اول و مدل شبکه عصبی مصنوعی (R²=۰/۲۱-۰/۳۴) در جایگاه دوم بود. از نظر

جدول ۳- ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها در مرحله اعتبارسنجی در آبخیز ماهورمیلاتی استان فارس.

Table 3- Evaluation of the prediction accuracy of models in the validation phase in the Mahurmilati Watershed of Fars Province.

Evaluation criteria	Data approach	SVM	ANN
RMSE	M ₁	46.70	76.84
	M ₂	88.86	92.11
	M ₃	87.35	79.05
R ²	M ₁	0.59	0.34
	M ₂	0.55	0.30
	M ₃	0.41	0.21
RSR	M ₁	0.84	1.39
	M ₂	0.93	0.97
	M ₃	1.01	0.91
d	M ₁	0.81	0.63
	M ₂	0.58	0.56
	M ₃	0.34	0.60

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آبخیز مطالعه‌شده در این پژوهش، از معروف‌ترین مناطق مستعد شکل‌گیری و رشد فرسایش خندقی در استان فارس است. به‌طوری‌که بر اساس پایش‌های سالانه انجام‌شده در این پژوهش، تغییرات ابعاد هندسی خندق‌ها در این آبخیز مشاهده شد. افزایش ابعاد هندسی خندق‌ها، نشان‌دهنده رشد فرسایش خندقی بود و یک متغیر بسیار پیچیده که عامل‌های متفاوتی بر آن تأثیرگذارند. افزون بر ویژگی‌های محیطی، پستی‌بلندی، خاک‌شناسی، سنگ‌شناسی، پوشش گیاهی، بارندگی و غیره، درجه بلوغ و تکامل فرسایش خندقی نیز یکی از عامل‌های مؤثر در پیش‌روی و اندازه هدررفت خاک بود. به‌بیان دیگر، درجه بلوغ و تکامل، یک ویژگی ذاتی مربوط به خندق است که بر حساسیت و ظرفیت رشد یک خندق تأثیرگذار است. خندق‌های موجود در آبخیز ماهورمیلاتی، بیشتر از نوع خندق‌های بالغ و تکامل‌یافته بودند که اندازه هدررفت خاک ناشی از آن‌ها بسیار زیاد بود. طول بیشتر این خندق‌ها زیاد بود و ژرفا و عرض آن‌ها به‌اندازه‌ای بود، تغییرات کوچک در ابعاد آن‌ها موجب هدررفت بسیار زیاد خاک شده است. به‌طوری‌که در مجموع، در دوره مطالعه‌شده، هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی ۱۵۳۰۰/۹۴ تن بود. این اندازه بیانگر وضعیت بسیار بحرانی

هدرفت منابع خاک در این آبخیز بود که مهار آن نیازمند یک برنامه علمی- عملیاتی است. مدل‌های یادگیری ماشینی متفاوت، بر اساس ساختار و رویکرد مدل‌سازی، قابلیت‌های متفاوتی دارند. تاکنون این مدل‌ها در پژوهش‌هایی استفاده شده‌اند (رحمتی و همکاران ۲۰۱۷ و گروسی و همکاران ۲۰۱۸)؛ اما از آنجایی که کارایی آن‌ها در زمینه مدل‌سازی هدررفت خاک، و به‌بیان دیگر، رشد فرسایش خندقی، که ماهیت زمانی- مکانی دارد، تاکنون مشخص نشده است در این پژوهش، این نکته مهم، بررسی شد.

از این‌رو، با توجه به این‌که تاکنون مدل‌سازی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی انجام نشده است؛ امکان مقایسه مستقیم در این زمینه وجود ندارد. با این‌حال، در پژوهش‌های پیشین (والی‌پور و همکاران ۲۰۲۱، مددی و همکاران ۲۰۲۴، پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۷، رحمتی و همکاران ۲۰۱۷، گروسی و همکاران ۲۰۱۸، روی و همکاران ۲۰۲۰ و بامو و همکاران ۲۰۲۴)، عملکرد بهتر مدل ماشین‌بردار پشتیبان در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی در شناسایی مناطق مستعد فرسایش خندقی تأیید شده است که با یافته‌های این پژوهش، هم‌راستا است. زیرا، نتایج مدل‌سازی اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش

خندقی در آبخیز ماهورمیلانی استان فارس نشان داد که عملکرد مدل ماشین‌بردار پشتیبان (SVM)، بهتر از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) بود. در ارزیابی عملکرد یک مدل برای شبیه‌سازی یک پدیده متغیرهای پرشماری نقش دارند که باید به آنها توجه کرد. از این‌رو، در این پژوهش، از ۱۵ متغیر محیطی برای پیش‌بینی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی استفاده شد. افزون بر این، با استفاده از این متغیرها اطلاعات بسیار مهمی از نظر تغییرات مکانی و زمانی و ویژگی‌های آبخیز، برای مدل فراهم شد. از سوی دیگر، متغیر وابسته مدل‌سازی، محدود به سه سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ بود که بر اساس استانداردهای مدل‌سازی، داده‌های دو سال آن برای آموزش (واسنجی) مدل و داده‌های یک سال آن برای اعتبارسنجی (صحت‌سنجی) استفاده شد. همچنین، در این پژوهش، طول دوره پایش، بلندمدت نبود اما عملکرد دو مدل استفاده‌شده برای پیش‌بینی هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی مناسب بود. از مزیت‌های مهم این پژوهش آن بود که دو مدل استفاده‌شده از میان کارآمدترین مدل‌های هوش مصنوعی انتخاب شدند و با در نظر گرفتن ویژگی‌های تغییرپذیر در زمان، شرایط پیش‌بینی در آینده فراهم شد و از این‌رو در سال‌های آتی نیازی به اندازه‌گیری میدانی دوباره نیست.

از این‌رو، در سال‌های آینده (۱۴۰۴ و بعد از آن)، کاربران محترم باید فقط اندازه بارندگی سالانه، تعداد بارندگی‌های بیشتر از ۵ میلی‌متر و نقشه پوشش گیاهی را برای پیش‌بینی هدررفت خاک خندق‌ها تهیه کنند. در این راستا، آنها باید عامل‌های مربوط به بارندگی را از ایستگاه‌های هواشناسی و عامل پوشش گیاهی را از تصویرهای ماهواره‌ای لندست تهیه کنند. دیگر متغیرهای مستقل نیز نیازی به اندازه‌گیری مجدد ندارند. زیرا، در گذر زمان تغییرات زیادی در آنها (مانند: بلندی، شیب و غیره) ایجاد نمی‌شود. همچنین، اندازه هدررفت خاک بعد از اجرای این پژوهش، نیز نیازی به اندازه‌گیری مجدد میدانی ندارد. در حقیقت، در سال‌های بعد می‌توان بر اساس

یادگیری‌های کسب‌شده مدل در مرحله آموزش، با در نظر گرفتن اطلاعات بارندگی و پوشش گیاهی جدید، اندازه هدررفت خاک ناشی از خندق‌ها را پیش‌بینی کرد. این یافته مهم‌ترین وجه تمایز این پژوهش بود و بیانگر آن است که با مدل‌سازی می‌توان در وقت و هزینه صرفه‌جویی کرد و خدمات ارزنده‌ای به مدیریت حفاظت آب و خاک کشور ارائه داد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، اندازه رشد خندق‌ها در آبخیز مطالعه‌شده زیاد بود و در شرایطی که به مهار آنها توجه نشود، پیوسته ابعاد خندق‌ها بیشتر رشد خواهند کرد و منابع ارزشمند خاک و زمین بالادست و همچنین حاشیه خندق‌ها از بین می‌رود. از سوی دیگر، انتقال رسوب بسیار زیاد ناشی از فرسایش خندقی به خروجی این آبخیز سبب خسارت‌های زیادی خواهد شد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که دستگاه‌های اجرایی مربوطه با استفاده از روش‌های مبتنی بر طبیعت، و با کمک روش‌های مهندسی نرم (استقرار پوشش گیاهی بومی و سازگار به‌عنوان یکی از روش‌های بسیار مؤثر و کم‌هزینه در حفاظت خاک) ماده آلی خاک را افزایش دهند و با اصلاح خاک‌های شور و سدیمی به‌وسیله اصلاح‌کننده‌ها و در صورت لزوم، انحراف رواناب‌ها از پیشانی خندق‌ها با استفاده از عملیات سازه‌ای، اندازه پیشروی و رشد خندق‌ها را مهار کنند.

در این پژوهش، طول دوره آماری اندازه‌گیری ابعاد هندسی خندق‌ها سه سال بود و داده‌های نسبتاً اندکی برای آموزش مدل و اعتبارسنجی نتایج فراهم شد. با این حال، قابلیت مدل ماشین‌بردار پشتیبان در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی اندازه هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی بیشتر بود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود با توجه به زمان‌بر بودن شکل‌گیری و رشد خندق‌ها، دوره‌های بلندمدت‌تر برای پایش و اندازه‌گیری مستقیم ابعاد خندق‌ها در نظر گرفته شود تا با ثبت داده‌های رشد فرسایش خندقی در سال‌های متوالی، امکان آموزش بهتر مدل‌ها فراهم شود. یقیناً در گام بعد، اولویت‌بندی کارایی مدل‌های یادگیری ماشینی در چنین شرایطی، نیازمند بررسی

سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته‌ای از نتایج طرح تحقیقاتی ملی با عنوان برآورد هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی و معرفی مناسب‌ترین مدل، با کد مصوب ۹۹۰۵۱۴-۹۹۰۲۴-۲۹-۵۰ در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است. نویسندگان این مقاله از حمایت‌های پژوهشکده نامبرده و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سپاس‌گزاری می‌کنند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در زمینه 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 قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، نگارش نسخه اولیه مقاله، بازبینی مقاله

نویسنده دوم: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، بررسی نتایج

نویسنده سوم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی مقاله

نویسنده چهارم: بازبینی و ویرایش مقاله

مجدد در پژوهش‌های آتی خواهد بود. یکی از محدودیت‌های اجرای این پژوهش که دیگر پژوهشگران در کشورهای گوناگون نیز عموماً با آن مواجه هستند، نبود ایستگاه‌های باران‌نگار در بخش‌های متفاوت آبخیزها و دسترسی نداشتن به اطلاعات شدت بارندگی بود. از سوی دیگر، با توجه به پراکنش مکانی خندق‌ها در یک آبخیز گسترده، امکان تعیین داده‌های شدت بارندگی از یک ایستگاه به بخش‌های متفاوت آن آبخیز وجود ندارد و استفاده از این اطلاعات کمک شایانی به مدل‌سازی نمی‌کند. در این راستا، پیشنهاد می‌شود در شروع پژوهش‌هایی با هدف مدل‌سازی، چند ایستگاه باران‌نگار در بخش‌های متفاوت آبخیز(های) مد نظر نصب شود تا اطلاعات دقیقی از ویژگی‌های بارندگی ثبت شود. نتایج مدل‌سازی این پژوهش بیانگر جایگاه دوم مدل شبکه عصبی مصنوعی پس از مدل ماشین‌بردار پشتیبان بود. از این‌رو، با توجه به پیشرفت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ظهور مدل‌های یادگیری عمیق، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، در شرایطی که داده‌های اندازه‌گیری‌شده زیاد است، از مدل‌های شبکه عصبی عمیق استفاده شود.

فهرست منابع

- Arabkhedri M. 2021. Water erosion and sediment Production Status in Iran: Statistical and Comparative Analyses. Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources. 6(2): 139-156. (In Persian). <https://doi.org/10.22047/SRJASNR.2021.14054>
- Arabkhedri M, Shadfar S, Jafari-Ardakani A, Bayat R, Khajavi E, Mahdian MH. 2018. Improving water erosion estimates for Iran. Journal of Watershed Management Research. 31(3):13-27. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/WMEJ.2018.121424.1106>
- Bammou Y, Benzougagh B, Abdessalam O, Brahim I, Kader Sh, Spalevic V, Sestras P,

- Ercişli S. 2024. Machine learning models for gully erosion susceptibility assessment in the Tensift Catchment, Haouz Plain, Morocco for sustainable development. Journal of African Earth Sciences, 213, 105229. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2024.105229>
- Casali J, Loizu J, Campo MA, De Santisteban LM, Alvarez-Mozos J. 2006. Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral gully erosion. Catena. 67(2): 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.03.005>
- Fars Province Meteorological Department Website. 2024. Reporting meteorological

- statistics of Fars Province cities. (In Persian). <https://www.farsmet.ir/ReportAmar.aspx>
- Garosi Y, Sheklabadi M, Pourghasemi HR, Besalatpour AA, Conoscenti C, Van Oost K. 2018. Comparison of differences in resolution and sources of controlling factors for gully erosion susceptibility mapping. *Geoderma*. 330: 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.027>
- Gelete TB, Pasala P, Abay NG, Woldemariam GW, Yasin KH, Kebede E, Aliyi I. 2024. Integrated machine learning and geospatial analysis enhanced gully erosion susceptibility modeling in the Erer watershed in Eastern Ethiopia. *Sec. Environmental Informatics and Remote Sensing*. 12, 1410741. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1410741>
- Han J, Guzman JA, Chu ML. 2023. Gully erosion susceptibility mapping using the stacking ensemble machine learning method. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, ASABE 2023, Omaha, Nebraska, United States, July 9-12, 2023. Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, Annual International Meeting*. <https://doi.org/10.13031/aim.202300154>
- Hein L. 2007. Assessing the costs of land degradation: A case study for the Puentescatchment, southeast Spain. *Land Degradation & Development*. 18(6): 631-642. <https://doi.org/10.1002/ldr.802>
- Igwe PU, Chinedu OC, Nlem EU, Nwezi CC, Ezekwu JC. 2018. A Review of Landscape Design as a Means of Controlling Gully Erosion. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology*. 3(1): 103-111. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.1.13>
- Liu G, Arabameri A, Santosh M, Asadi Nalivan O. 2023. Optimizing machine learning algorithms for spatial prediction of gully erosion susceptibility with four training scenarios. *Environmental Science and Pollution Research*. 30(16): 46979-46996. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25090-2>
- Madadi A, Asgharisaraskanroud SA, Neghaban S, Marhamat M. 2024. Application of support vector machine (SVM) and Boosted Regression Tree (BRT) to Model the Sensitivity of Gully Erosion in the Watershed of Shour River Mohr City. *Journal of Physical Geography Research*. 55(4):83-101.(In Persian). <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.360424.1007775>
- Motielangroodi SH. 2012. *Geography of the Iranian Economy (Agriculture, Industry and Services)*. Mashhad Jihad Daneshgahi Publications, First Edition. 384 p. (In Persian).
- Pourghasemi HR, Yousefi S, Kornejady A, Cerdà A. 2017. Performance assessment of individual and ensemble data-mining techniques for gully erosion modeling. *Science of the Total Environment*. 609: 764-775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.198>
- Rahmati O, Tahmasebipour N, Haghizadeh A, Pourghasemi HR, Feizizadeh B. 2017. Evaluation of different machine learning models for predicting and mapping the susceptibility of gully erosion. *Geomorphology*. 298: 118-137. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.09.006>
- Refahi H Gh. 2017. *Water Erosion and Its Control*. Tehran University Press, 7th edition, 672 p. (In Persian).
- Roy P, Chakraborty R, Chowdhuri I, Malik S, Das B, Pal SC. 2020. Development of different machine learning ensemble classifier for gully erosion susceptibility in Gandheswari Watershed of West Bengal, India. In book: *Machine Learning for Intelligent Decision Science*. pp. 1-26. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3689-2_1
- Soufi M. 2004. Investigation of morphoclimatic characteristics of gullies in Fars province. Final report of the research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute Publications. 130 p. (In Persian).
- Svoray T, Markovitch H. 2009. Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision. *Earth Surface Processes and Landforms*. 34: 1970-1984. <https://doi.org/10.1002/esp.1873>
- Tebebu T, Abiy A, Dahlke H, Easton Z, Tilahun S, Collick A, Kidnau S, Moges S, Dadgari F. 2010. Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 7(4): 2207-2217. <https://doi.org/10.5194/hessd-7-5235-2010>
- Valipour M, Mohseni N, Hosseinzadeh SR. 2021. Modeling the occurrence of gully erosion in the Gorganrood watershed. *Proceedings of the 8th National Conference of the Iranian Society of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*. (In Persian).



Evaluation of the Efficiency of Support Vector Machine and Artificial Neural Network Models in Modeling Soil Loss Due to Gully Erosion

Seyed Masoud Soleimanpour^{1*}, Omid Rahmati², Samad Shadfar³, Maryam Enayati⁴

1- 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

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

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

4- 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

Extended Abstract

Introduction and Goal

Water erosion is also one of the most important factors in land degradation. Among the different types of water erosion, gully erosion is a very obvious and prominent type of soil erosion and is one of the most important challenges threatening food production, human health, and the ecosystem. Since the amount of soil loss due to gully erosion is directly related to environmental factors, it is possible to model the amount of soil loss due to gullies based on environmental conditions. On the other hand, field measurement of the amount of soil loss due to gully erosion is very time-consuming and costly, and direct measurement of gully erosion on a large scale is not possible. In this regard, this study aimed to evaluate the effectiveness of support vector machine (SVM) and artificial neural network (ANN) models in modeling soil loss due to gully erosion in the Mahurmilati watershed located in the southwest of Fars province.

Materials and Methods

In field visits, the geographical location of all gullies located in this watershed was recorded using a GPS device, and after matching with Google Earth satellite images, these points were transferred to the GIS and a gully distribution map was drawn. Field measurements of the dimensional parameters of 70 gullies were carried out over four years (2021-2024), including: gully length, upper width, lower width, and gully depth, and the volume and weight of soil lost due to gully erosion were also calculated. For the modeling process, 15 environmental factors were selected as independent variables (predictor variables).

Article Type: Research Article

*Corresponding Authors' E-mail: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

Citation: Soleimanpour, S.M., Rahmati, O., Shadfar, S., Enayati, M. 2025. Evaluation of the Efficiency of Support Vector Machine and Artificial Neural Network Models in Modeling Soil Loss Due to Gully Erosion. Watershed Management Research. 38(3)78-99.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.368669.1616

Received: 17 February 2025, **Received in revised form:** 25 March 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.3, Ser. No: 148, Autumn 2025, pp.78-99.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



In the modeling process, environmental factors were considered as independent variables, and the rate of soil loss in gullies was considered as a dependent variable. The gullies were randomly divided into two groups: training (70%) and validation (30%). Modeling was performed using two models: support vector machine and artificial neural network, with a cross-validation approach. The accuracy of the models was evaluated using quantitative criteria such as root mean square error (RMSE), determination coefficient (R^2), RSR error index, and goodness of fit (d).

Results and Discussion

The results of the assessment of the prediction accuracy of the models showed that the smallest error size in terms of the root mean square error (RMSE) criterion was related to the support vector machine model, followed by the artificial neural network model in second place. Based on the evaluation criterion of the coefficient of determination (R^2), the support vector machine model ($R^2=0.41-0.59$) was in first place and the artificial neural network model ($R^2=0.21-0.34$) was in second place. In terms of the evaluation criterion of the RSR error index, the artificial neural network model was in first place and the support vector machine model was in second place. The highest degree of agreement between observational and forecast data in terms of agreement evaluation index (d) was for the support vector machine model (0.81), and the artificial neural network model with an agreement index size of 0.63 was in second place in performance. Therefore, based on the results of this study, the performance of the support vector machine model was better in terms of evaluation criteria of root mean square error (RMSE), explanation index, and agreement index, compared to the artificial neural network model, and it was introduced as the superior model for predicting the amount of soil loss due to gully erosion in the Mahurmilati watershed of Fars province.

Conclusion and Suggestions

In evaluating the performance of a model for simulating a phenomenon, several factors play a role in this issue that must be considered. Therefore, in this study, 15 environmental variables were used to predict soil loss due to gully erosion. In addition, using variables provided the model with very important information in terms of spatial and temporal changes and watershed characteristics. Also, in this study, the monitoring period was not long-term; but the performance of the two models used for predicting soil loss due to gully erosion was appropriate. One of the important advantages of this research was that the two models used were selected from among the most efficient artificial intelligence models, and by considering time-varying characteristics, future forecasting conditions were provided, and therefore, there is no need for repeated field measurements in the coming years. In fact, the model can predict the amount of soil loss caused by gullies in subsequent years based on the learnings gained during the training phase and by considering new rainfall and vegetation cover information. This finding was the most important distinguishing feature of this research and indicates that modeling can save time and money and provide valuable services to the country's water and soil conservation management. In this regard, it is suggested that models based on artificial intelligence and machine learning structures be used in future research.

Keywords: Artificial intelligence, Forecasting, Machine learning, Mahurmilati

Article Type: Research Article**Acknowledgement**

This article is derived from part of the results of the national research project entitled "Estimation of soil volume loss due to gully erosion using machine learning models and introduction of the most appropriate model", with the approved code 0-50-29-024-990514 at the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. The authors of this article are grateful for the support of the aforementioned research institute and the Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center.

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, writing the first draft of the article, revising the article

Author 2: Performing software/statistical analyses, controlling the results

Author 3: Conceptualization, consulting, revising the article

Author 4: Revising and editing the article



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآخذ تحقیقات، آموزش، پژوهش و توسعه کشاورزی

توزیع مکانی کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی مراتع آبخیز چهلگزی شهرستان سنندج، استان کردستان

صلاح‌الدین زاهدی^{۱*}، رستم خلیفه‌زاده^۲

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

کردستان، سنندج، ایران

۲- پژوهشگر گروه مرتع مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

کربن آلی خاک، بر تمام ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیرگذار است و سبب حاصلخیزی خاک می‌شود و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک است. کربن آلی خاک در بوم‌نظام‌های خشکی از جنبه‌های گوناگونی همچون کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای، افزایش عملکرد و حاصلخیزی خاک، کاهش فرسایش‌پذیری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی و غیره، حائز اهمیت است. از این‌رو، امروزه در زمره عوامل تعیین‌کننده سلامت خاک طبقه بندی شده است و از آن با عناوینی همچون قلب کشاورزی پایدار و بخش حیاتی سامانه‌های تولید یاد می‌شود. مدیریت کربن آلی به‌ویژه در خاک‌هایی با کربن آلی کمتر از یک درصد (که بخش بزرگی از خاک‌های ایران را شامل می‌شوند)، ضرورت اجتناب‌ناپذیری است. هدف این پژوهش، ارزیابی توان عامل‌های طیفی و غیرطیفی خاک به‌منظور پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک سطحی در مراتع نیمه‌خشک چهلگزی سنندج با استفاده از تحلیل عاملی و وایازی خطی چندگانه بود.

مواد و روش‌ها

داده‌های ماهواره‌ای استفاده‌شده در این پژوهش از پایگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) دریافت شد. این داده‌ها از نوع اطلاعات سطح یک ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۹/۰۶/۱۸ بود و شماره مسیر و ردیف آن به ترتیب ۱۶۷ و ۳۵ بود. برای تهیه نقشه مدل طبقات ارتفاعی منطقه، از نقشه‌های پستی بلندی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مطالعه‌شده به شماره‌های NE ۱-۵۳۶۰ و NW ۱-۵۳۶۰ و SW ۲-۵۳۶۱ به ترتیب به نام‌های ساتیله، تودارملا و هانه‌گلان استفاده شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: zahedi51@gmail.com

استناد: زاهدی، ص.، خلیفه‌زاده، ر. ۱۴۰۴. توزیع مکانی کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی مراتع آبخیز چهلگزی شهرستان سنندج، استان کردستان. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۳): ۱۱۹-۱۰۰.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368385.1612

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۰۰ تا ۱۱۹.

© نویسندگان

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



با انجام بازدیدهای میدانی و به کارگیری روش فیزیونومی - فلوریستیک، مرز واحدهای همگن، اصلاح و تدقیق شد و نقشه نهایی گونه‌های گیاهی منطقه تهیه شد. برای برآورد متغیرهای درصد پوشش تاجی، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه و خاک لخت موجود در هر گونه گیاهی، از روش گام نقطه استفاده شد. سپس، از خاک گونه‌های مختلف مرتعی آبخیز چهلگری، با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی شده، نمونه‌برداری شد. به این منظور، تعداد ۱۳۵ پایگاه تعلیمی در واحدهای کاری همگن انتخاب شد. از این تعداد، اطلاعات ۱۰۵ پایگاه برای واسنجی مدل و اطلاعات ۳۰ پایگاه برای اعتبارسنجی آن به کار گرفته شد. در هر یک از پایگاه‌های تعلیمی به شیوه تصادفی، یک نمونه خاک ترکیبی متشکل از نه مشاهده از ژرفای صفر تا ۲۰ سانتی متری خاک سطحی برداشت شد. در هر نمونه، محتوای کربن آلی خاک با استفاده از روش تیتراسیون والکلی-بلاک اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین یک مدل مناسب برای پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی، ۲۱ متغیر بررسی شد. این متغیرها مشتمل بر ۱۴ متغیر طیفی و هفت متغیر شکل معیار بودند. با استفاده از فن تحلیل عاملی مبتنی بر روش اکتشافی متغیرهای مد نظر به سه عامل (رنگ خاک، پوشش گیاهی، گیاشناسی همراه با ویژگی‌های فیزیکی خاک طبقه‌بندی شدند. این سه عامل در مجموع $80/356\%$ تغییرات داده‌ها را تبیین کردند. با استفاده از وایازی خطی چندگانه، یک معادله وایازی مناسب ($R^2=0/66$) برای پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی محاسبه شد.

نتایج و بحث

نقشه واحدهای همگن از روی هم‌اندازی سه لایه اطلاعات مربوط به طبقه‌های بلندی، شیب و جهت‌های دامنه‌ای و حذف واحدهای خرد، زمین صخره‌ای و غیرقابل دسترس و زمین‌های کشاورزی تهیه شد و مشتمل بر ۳۲ واحد همگن بود. نقشه پوشش گیاهی منطقه شامل پنج گونه گیاهی غالب بود. در این پژوهش، متغیرهای طیفی انعکاسی مشتمل بر ۱۴ متغیر، از تصویرهای ماهواره‌ای استخراج شد. متغیرهای غیرطیفی (شکل معیار) نیز شامل هفت سنج‌بلندی نسبی، شیب، جهت دامنه تبدیل شده، انحنا عمودی، انحنا عمودی و افقی دامنه و شاخص رطوبت پستی‌بلندی بودند که از مدل رقومی ارتفاع منطقه به دست آمدند. سپس، با انجام آزمون تحلیل عاملی شاخص کفایت نمونه برداری (KMO) بررسی شد و متغیرهای با ضریب همبستگی کمتر از ۰/۵ حذف شدند. این آزمون تا دستیابی به نتیجه مناسب، تکرار شد و سرانجام ۸ متغیر (آلبیدوی سطح، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار، شاخص‌های سبزی‌نگی، روشنایی و رطوبت تبدیل تسلدکپ، شاخص رس، شیب و بلندی از سطح تراز دریا) به عنوان متغیرهای مناسب برای ورود به مدل تحلیل عاملی انتخاب شدند. جذر میانگین مربعات خطا و میانگین نسبی خطای مطلق مدل پیشنهادی به ترتیب $0/117$ و $0/191$ محاسبه شد. مقایسه میانگین ذخیره کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی موجود در منطقه پژوهش شده با استفاده از تجزیه و ردایی، معنی‌دار بود ($p < 0/01$). بر اساس نتایج این پژوهش با تحلیل نمودار میانگین بهنجار یک‌طرفه، گونه‌های گیاهی بررسی شده در دو گروه بیشتر از میانگین کل کربن آلی رویشگاه (گونه‌های ۱، ۲ و ۵) و کمتر از میانگین کل کربن آلی رویشگاه (گونه‌های ۳ و ۴)، طبقه‌بندی شدند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج تجزیه و ردایی میانگین ذخیره کربن آلی در خاک سطحی ۵ گونه گیاهی موجود در منطقه مطالعه شده نشان داد که اختلاف میانگین کربن آلی خاک در گونه‌های گیاهی مد نظر معنی‌دار بود ($p < 0/01$). میانگین وزنی کربن آلی در خاک سطحی مراتع منطقه پژوهش شده $1/26\%$ به دست آمد. بر پایه نتایج این پژوهش و بر اساس مساحت و پستی‌بلندی منطقه و تعداد نمونه‌های برداشت شده، پیشنهاد می‌شود برای فراهم آوردن شرایط تغییر میانگین وزنی کربن آلی در خاک سطحی مراتع منطقه، تعداد نمونه‌ها را افزایش داد و نقاط نمونه‌برداری را با پراکنش مناسب‌تری تعیین کرد.

واژگان کلیدی

تحلیل عاملی اکتشافی، کربن آلی خاک، لندست ۸، متغیرهای شکل معیار، متغیرهای طیفی، مراتع نیمه‌خشک، وایازی خطی چندگانه

مقدمه

کربن آلی یکی از مهمترین شاخص های کیفیت خاک است (استیونسون، ۱۹۹۴؛ ساها و همکاران ۲۰۱۱) که در بوم‌نظام های خشکی از جنبه های گوناگونی همچون کاهش اثرات گازهای گلخانه ای، افزایش عملکرد و حاصلخیزی خاک، کاهش فرسایش پذیری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی و غیره، حائز اهمیت است و امروزه در زمره عوامل های تعیین کننده سلامت خاک طبقه بندی شده است (بوما و مک براتنی ۲۰۱۳) و از آن با عنوان هایی چون قلب کشاورزی پایدار (میرزاشاهی و بازرگان ۲۰۱۵) و بخش حیاتی سامانه های تولید (بیدوال ۱۹۸۹) یاد می شود که مدیریت آن به ویژه در خاک های با کربن آلی کمتر از یک درصد (که بخش بزرگی از خاک های ایران را شامل می شوند)، ضرورت اجتناب ناپذیری است (میرزاشاهی و بازرگان ۲۰۱۵). نکته قابل توجه آن است که استفاده از روش های مستقیم (سنتی) برای برآورد کربن آلی خاک، فقط در مقیاس های محلی (سطوح کوچک) قابل اجرا است و در مقیاس های گسترده (منطقه ای، ملی و فراملی) به دلیل نیاز به صرف هزینه و وقت زیاد، قابلیت اجرایی ندارد. از این رو، دستیابی به روش نوینی برای پیش بینی اندازه ذخیره کربن آلی خاک مراتع که با صرف کمترین هزینه، قادر به ارائه نقشه ای پیوسته در سطح گسترده و با دقت مناسب از متغیر یادشده باشد، ضرورت اجتناب ناپذیری است. در این راستا، با استفاده از داده های سنجش از دور می توان به راهکار مناسبی برای پاسخگویی به این نیاز دست یافت.

به منظور تعیین عامل های تأثیرگذار بر تغییرات ذخیره کربن در کاربری های گوناگون زمین در اختراآباد سمنان، تیمارهای متفاوتی از دیدگاه نوع و سن کشت و استفاده از زمین، شدت های چرای مختلف روی گیاه آتریپلکس، تاغ، گندم دیم، جو آبی و شاهد (مرتع طبیعی) بررسی شد (کمالی و صادقی پور ۲۰۱۶). نتایج این پژوهش نشان داد مهمترین عامل های تأثیرگذار بر ذخیره کربن در تیمارهای گوناگون شامل رس ژرفای دوم و سوم و بی کربنات ژرفای دوم، ازت ژرفای دوم، هدایت الکتریکی ژرفای سوم، وزن اندام هوایی و کربن ریشه بودند. در

عرصه های پخش سیلاب دشت گربایگان فسا، روستا و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر ویژگی های فیزیکی خاک و نوع کاربری زمین بر اندازه ذخیره کربن در خاک و کاهش اثرهای منفی تغییر اقلیم را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین کربن آلی در کاربری های گوناگون به ترتیب مربوط به جنگل اوکالیپتوس (۶۸/۱٪) و کاربری شاهد (۱۴/۰٪) بود. نتایج پژوهش رفتارهای طیفی و غیرطیفی خاک برای برآورد کربن آلی خاک سطحی در مناطق گوناگون با استفاده از روش های تحلیل عاملی و وایازی چندگانه در مراتع نشان داد که اندازه همبستگی متغیرهای طیفی به دست آمده از تصویرهای ماهواره ای با کربن آلی خاک سطحی بیشتر از متغیرهای محیطی است (ناطقی و همکاران ۲۰۲۱؛ خلیفه زاده و همکاران ۲۰۱۸). در آبخیز راونگ میناب، ترکمانی و همکاران (۲۰۱۹) از تصویرهای ماهواره لندست ۸ و مدل جنگل تصادفی برای تهیه نقشه توزیع مکانی کربن آلی خاک و تعیین مهمترین متغیرها در برآورد آن استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین وزن در مدل توزیع مکانی کربن مربوط به متغیرهای به دست آمده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (بلندی، سطح پایه شبکه کانال، شیب و ویژگی های خاک مانند درصد لای و ماسه) بود. جعفری و همکاران (۲۰۲۳) از مدل RothC برای برآورد ذخیره کربن آلی در مراتع کوهستانی فیروزآباد کرمانشاه در سه دوره زمانی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مهم ترین متغیر تأثیرگذار بر تغییرات ذخیره کربن آلی، تغییرات آب و هوایی بود و اندازه کل کربن ذخیره شده مراتع در مقایسه با زمین های کشاورزی بیشتر بود. همچنین، عملیات کشاورزی سبب کاهش مراحل مختلف ذخیره کربن آلی در خاک شد. اثرات دو عامل طبیعی و انسانی بر تجزیه، گردش و تبدیل کربن آلی خاک و توزیع مکانی آن بر خاک های چرنوزوم در چین به وسیله ژئائوزانگ و همکاران (۲۰۲۴) بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که تأثیرگذارترین متغیرها بر توزیع مکانی SOC شامل تغییرات آب و هوا، انواع کاربری زمین، کوددهی،

مناسب با استفاده از اطلاعات طیفی انعکاسی ماهواره لندست ۸ و شاخص‌های غیرطیفی به‌دست آمده از مدل رقومی ارتفاع گونه‌های مختلف مراتع منطقه پژوهش‌شده بود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه پژوهش‌شده

مساحت منطقه پژوهشی که یکی از زیرآبخیزهای آبخیز سد قشلاق است حدود ۲۷۲۳۳ هکتار و در ۳۰ کیلومتری شمال شهرستان سنندج و میان مختصات جغرافیایی ۴۵° ۴۶' تا ۴۶° ۵۷' طول شرقی و ۲۵° ۳۵' تا ۳۵° ۳۸' عرض جغرافیایی است (شکل ۱). اقلیم این منطقه بر پایه روش دومارتن اصلاح‌شده نیمه خشک فراسرد و کمترین میانگین دما در سردترین ماه سال ۸/۱- درجه است. میانگین دمای سالانه ۹/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۳۲۳/۱ میلی‌متر است.

روش پژوهش

سنجش از دور

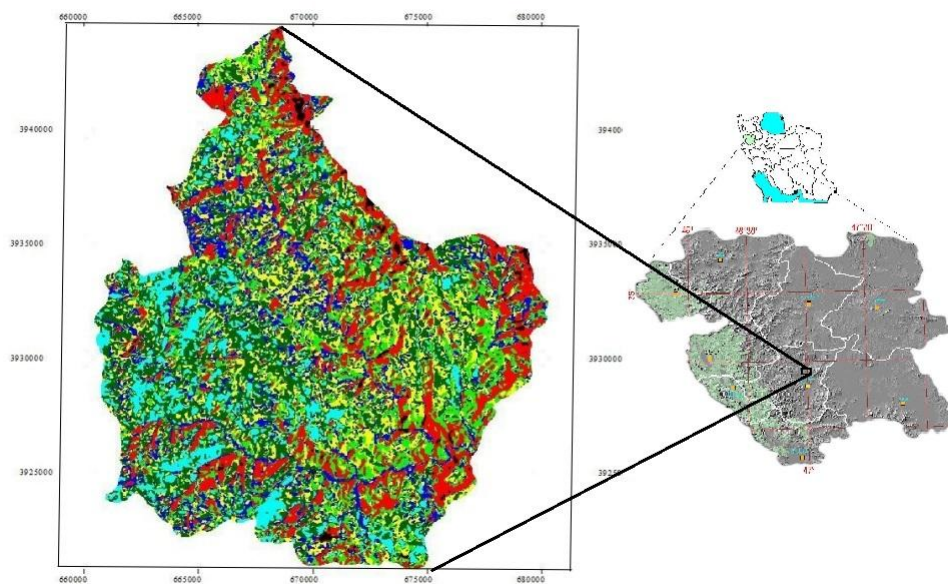
از داده ماهواره لندست ۸ مورخ ۲۰۱۹/۰۶/۱۸ با شماره مسیر و ردیف به‌ترتیب ۱۶۷ و ۳۵ استفاده شد.

داده برداری میدانی

واحدهای کاری همگن برای نمونه‌برداری با استفاده از نقشه‌های شیب، جهت و طبقات بلندی به‌دست آمده از نقشه‌های پایه و رقومی ارتفاع منطقه به‌دست آمد. مساحت پوشش گیاهی مرتعی در این آبخیز بیش از ۲۳۰۰۰ هکتار بود. درصد این پوشش از ۳۵ تا ۶۸٪ و وضعیت مراتع بر اساس روش چهار فاکتوره از ضعیف و متوسط تا خوب متغیر بود. مرز واحدهای همگن در نقشه گونه‌های گیاهی منطقه، با انجام بازدیدهای میدانی و به‌کارگیری روش فیزیونومی- فلوریستیک اصلاح شد و نقشه نهایی گونه‌های گیاهی منطقه تهیه شد. متغیرهای درصد پوشش تاجی، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه و خاک لخت موجود در هر گونه گیاهی با روش گام نقطه^۱ برآورد شد.

شیوه‌های خاک‌ورزی همراه با عامل پستی‌بلندی، فرایندهای آب‌شناسی و فرسایش خاک بودند. اثرات پستی‌بلندی و عامل‌های پوشش گیاهی بر محتوا و توزیع SOC در ژرفاهای گوناگون خاک در آبخیزی کوچک در چین به‌وسیله یو و همکاران (۲۰۲۰)، ارزیابی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر توزیع مکانی SOC در این آبخیز، پستی‌بلندی بود. ازاین‌رو، در برآورد دقیق ذخیره‌سازی SOC در یک آبخیز کوچک عامل پستی‌بلندی مهم‌تر از عامل پوشش گیاهی است. در یک آبخیز شهری، ژانگ و همکاران (۲۰۲۱)، تغییرات مکانی و توزیع کربن آلی خاک را بررسی کردند. نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی ترکیبی، تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی و گردآوری کمترین مجموعه داده‌ها نشان داد که همبستگی میان محتوای ماسه، فاصله تا مرکز شهر، نوع کاربری زمین و نوع پوشش گیاهی با تغییرات مکانی و برآورد SOC نزدیک بود. در دشت شمال‌شرقی چین، ما و همکاران (۲۰۲۴)، اندازه محتوای SOC خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) را با ۱۹۲۰ نقطه نمونه‌برداری و بر اساس شبکه پایش زمین‌شیمیایی کیفیت زمین تهیه‌شده در سال ۲۰۱۸ برآورد کردند. نتایج نشان داد که بیشتری محتوای SOC در میان انواع گوناگون کاربری زمین مربوط به زمین‌های شالیزار بود. همچنین، نتایج بیانگر وابستگی مکانی زیاد محتوای SOC بود و ازاین‌رو، به تدریج از سمت جنوب‌غربی به شمال‌شرقی در منطقه پژوهش‌شده اندازه آن افزایش یافت.

وانگ و همکاران (۲۰۲۴) در آبخیز رود ژینگه در چین با استفاده از یک چارچوب یادگیری ماشینی و با چارچوب از پایین به بالا، تغییرات مکانی- زمانی کربن آلی خاک و آسیب‌پذیری آن در برابر تغییرات آب و هوایی، را ارزیابی کردند و دریافتند که زمین‌های کشاورزی بخش شمالی منطقه پژوهش‌شده به تغییر اقلیم حساس‌تر بودند و افزایش دما سبب کاهش شدید SOC شد. هدف این پژوهش، دستیابی به مدل قابل قبول پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی با هزینه و زمان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش شده.

Figure 1- Geographical location of the study area.

پیمایش میدانی و با استفاده از نقشه پستی‌بلندی منطقه و دستگاه GPS، موقعیت مکانی کلیه نقاط نمونه‌برداری تعیین شد و در محل هر نقطه با استفاده از بیلچه، یک نمونه از خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی متر) برداشت شد. نمونه‌های برداشت‌شده مربوط به هر پایگاه تعلیمی (در سطح پیکسل) با هم مخلوط شد و یک نمونه دو کیلوگرمی از آن تهیه شد و به آزمایشگاه منتقل شد. از مجموع ۱۳۵ نمونه خاک برداشت‌شده، تعداد ۱۰۵ نمونه برای واسنجی مدل و ۳۰ نمونه نیز برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

داده‌های استفاده‌شده برای پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی

برای برآورد کربن آلی خاک از دو دسته متغیرهای طیفی کمکی (داده‌های انعکاسی) و غیرطیفی استفاده شد. همه عوامل‌های نامبرده به‌عنوان متغیرهای مستقل اولیه، در مدل پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی به‌شمار می‌آیند. متغیرهای طیفی (انعکاسی) استفاده‌شده شامل ۱۵ لایه اطلاعاتی بودند که از این تعداد، هفت لایه مربوط به اطلاعات طیفی باندهای ۲ تا ۷ انعکاسی اصلاح‌شده جو بالای سنجنده OLI بودند. هشت متغیر دیگر شامل شاخص طیفی آلبیدوی سطح، شاخص رس، شاخص کربنات، شاخص اندازه ذرات،

گونه‌های گیاهی بررسی‌شده به شرح زیر است:

- گونه *Ferula haussknechtii*-*Bromus tomentellus* (condition value = 42)
- گونه *Astragalus* Spp.- *Psathyrostachys fragilis*- *Bromus tomentellus* (condition value = 40)
- گونه *Astragalus* Spp.- *Gundelia tournefortii* (condition value = 27)
- گونه *Astragalus* Spp.-*Bromus tomentellus* (condition value = 33)
- گونه *Bromus tomentellus*-*Ferula hausknechtii* (condition value = 36)

برای حذف اثر رطوبت بر واکنش طیفی، با استفاده از منحنی آمپروترمیک، میانگین بلندمدت ایستگاه همدید سنج محاسبه شد و عملیات نمونه‌برداری در خشک‌ترین ماه سال و نزدیکترین زمان به تاریخ گذر ماهواره انجام شد. از هر یک از واحدهای کاری همگن، با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی‌شده نمونه‌برداری شد. در این روش منطقه پژوهش‌شده به چند طبقه همگن تقسیم شد. سپس، در هر یک از طبقات همگن چند نقطه تصادفی (متناسب با سطح هر واحد همگن) تعیین شد و موقعیت نقاط مد نظر روی نقشه پستی‌بلندی منطقه منتقل شد. با مراجعه به عرصه و

T_{ij} : ضریب همبستگی ساده میان متغیرهای i و j ; a_{ij} : ضریب همبستگی جزئی میان متغیرهای i و j به شرط ثابت بودن دیگر متغیرها است. هر چه شاخص KMO به یک نزدیک شود، بیانگر دقت محاسبات مربوطه با استفاده از روش تحلیل عاملی است. در شرایطی که این شاخص بزرگتر از $0/6$ باشد، این نکته بیانگر امکان اجرای تحلیل عاملی بر متغیرهای ورودی است (هوارد ۲۰۱۶). با آزمون کرویت بارتلت فرض برابری ماتریس ضریب‌های همبستگی را می‌توان بررسی کرد. رد نشدن این فرض بیانگر آن است که همه متغیرها، مستقل از هم عمل می‌کنند و وجه اشتراک میان متغیرها معنی‌دار نیست. برای تعیین تعداد عامل‌ها از قاعده کایسر^۷ استفاده شد. بر اساس این قاعده، تعداد عامل‌ها تعیین شد که اندازه ویژه^۸ آنها برابر یا بزرگتر از یک است (کایسر ۱۹۶۰).

پهنه‌بندی کربن آلی خاک

پهنه‌بندی کربن آلی خاک سطحی با استفاده از روش وایازی چندگانه انجام شد. نقشه نقطه‌ای کربن آلی خاک سطحی در نقاط نمونه‌برداری تهیه شد و به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. عامل‌های به‌دست آمده از تجزیه عاملی با روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) نیز به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. با ایجاد رابطه وایازی میان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، مدل پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی ایجاد شد. رابطه ۴ شکل کلی معادله وایازی چندگانه بر اساس متغیرهای مستقل (عامل‌ها) است.

$$SOC = \beta_0 + \beta_1(PC_1) + \beta_2(PC_2) + \dots + \beta_n(PC_n) + \varepsilon \quad (4)$$

اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

برای اعتبارسنجی مدل از سه معیار ضریب همبستگی میان اندازه‌های حقیقی و پیش‌بینی شده کربن آلی، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (رابطه ۵) و میانگین نسبی خطای مطلق (رابطه ۶) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (5)$$

شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار (NDVI) و شاخص‌های سه‌گانه تبدیل تسلدکپ (روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت) بودند که پس از اجرای عملیات پیش پردازش روی داده‌های ماهواره، محاسبه و تهیه شدند.

متغیرهای غیرطیفی (شاخص‌های ریخت‌سنجی)

پس از عملیات پیش پردازش روی نقشه رقومی ارتفاع منطقه، هفت متغیر غیرطیفی شامل بلندی نسبی^۲، شیب، آزیموت شیب (جهت دامنه)، شکل عمومی انحنا^۳ (مقعر، محدب یا مسطح)، انحنا^۴ افقی (مبین شدت تغییرات جهت دامنه است و بیانگر آن است که هرزآب در عبور از سطح مد نظر به‌شکل همگرا یا واگرا عمل می‌کند) انحنا^۵ عمودی (شدت تغییرات شیب است و بیانگر آن است که سرعت جریان هرزآب در عبور از سطح مد نظر افزایش یا کاهش می‌یابد) (اولایا ۲۰۰۹) و شاخص رطوبت پستی‌بلندی^۶ محاسبه شد. این شاخص بیانگر گرایش آب به جمع شدن در هر نقطه از آبخیز (بر حسب As) است و تمایل نیروهای گرانشی را به انتقال آب به پایین‌دست (بر حسب $\tan \beta$ به‌عنوان شیب آبی تقریبی) توصیف می‌کند. برای محاسبه شاخص رطوبت پستی‌بلندی از رابطه ۱ استفاده شد (بیون و کیرک بای ۱۹۷۹).

$$TWI = Ln(As/\tan \beta) \quad (1)$$

A_s : سطح ویژه آبخیز و β : شیب است.

برای تبدیل متغیر آزیموت شیب، از رابطه ۲ استفاده شد (فرانکلین و همکاران ۲۰۰۰).

$$\cos(\text{Aspect} - 225^\circ) \quad (2)$$

برای تجزیه اطلاعات موجود در مجموعه داده‌ها از روش آماری تحلیل عاملی استفاده شد. در این راستا، با استفاده از شاخص KMO داده‌ها بررسی شدند. ضریب‌های همبستگی ساده و جزئی با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r^2_{ij}}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r^2_{ij} + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r^2_{ij}} \quad (3)$$

6-Topographic Wetness Index (TWI)

7- Kaiser Criteria

8- Eigenvalue

2-Relative Relief (RR)

3- landscape General Curvature

4-Planform Curvature

5-Profile Curvature

پستی‌بلندی بودند که ۶ متغیر از این تعداد در شکل ۲ نشان‌داده شده است. متغیرهای طیفی انعکاسی نیز شامل ۱۴ متغیر بود که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان‌داده شده‌اند.

عامل‌های استخراج شده

برای تعیین تعداد عامل‌هایی که باید برای مجموعه داده‌ها در این تحلیل استخراج شوند، از معیار کایسر استفاده شد. بر اساس این معیار، فقط عامل‌هایی انتخاب شدند که اندازه ویژه آنها برابر یا بزرگتر از یک باشد. عامل‌های استخراج‌شده و درصد تغییرات آنها در جدول ۲ نشان‌داده شده است. بر اساس این جدول اندازه ویژه سه عامل بیشتر از یک بود و این عامل‌ها در مجموع ۸۰/۳۶۵٪ تغییرات داده‌ها را تبیین کردند.

محاسبه امتیازات عاملی

اندازه نمرات (امتیازات) عامل‌های سه‌گانه برای ۷ متغیر استفاده‌شده در تحلیل عاملی در جدول ۳ نشان‌داده شده است. محورها و پراکنش متغیرها در نمودار تحلیل PCA در شکل ۵ نشان‌داده شده است.

مدل پیش‌بینی و پهنه‌بندی کربن آلی خاک سطحی

برای ایجاد مدل پیش‌بینی کربن آلی خاک، ابتدا رابطه وایازی خطی چندگانه میان کربن آلی خاک با لایه‌های اطلاعاتی عامل‌ها در ۱۰۵ نقطه نمونه‌برداری‌شده، بررسی شد. با بررسی هم‌خطی چندگانه و محاسبه ضریب‌های متغیرهای مستقل با روش توأم، صحت این مدل بررسی شد (جدول‌های ۴، ۵ و ۶).

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|O_i - P_i|}{O_i} \quad (6)$$

مقایسه ذخیره کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی برای مقایسه ذخیره کربن آلی در لایه سطحی خاک گونه‌های گیاهی مختلف موجود در منطقه پژوهش‌شده، از افزونه نمونه‌برداری در محیط نرم افزار ArcGIS 10.3 بهره‌گیری شد. ابتدا نقشه گونه‌های گیاهی منطقه فراخوان شد. سپس با استفاده از افزونه نمونه‌برداری، در هر گونه گیاهی، به شیوه تصادفی، تعداد ۳۰ نقطه (مشاهده) مشخص شد. با افزودن لایه پهنه‌بندی کربن آلی خاک سطحی و استفاده از دستور Extract در نرم افزار نامبرده، اندازه کربن آلی خاک در محل نقاط نمونه‌برداری، استخراج و به پرونده مربوطه اضافه شد. با انتقال این جدول به نرم افزار آماری مینی‌تب ابتدا وجود اختلاف میان میانگین ذخیره کربن آلی خاک در لایه سطحی گونه‌های مختلف گیاهی موجود در منطقه پژوهش‌شده با استفاده از روش تجزیه و ردایی یک‌طرفه آزمون شد و برای گروه‌بندی گونه‌های گیاهی مد نظر از تحلیل نمودار میانگین بهنجار یک‌طرفه بهره‌گیری شد.

نتایج و بحث

چکیده نتایج بررسی کیفیت آماری داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در این پژوهش متغیرهای غیرطیفی (ریخت‌سنجی) بررسی شده، ۷ متغیر بلندی نسبی، شیب، جهت دامنه تبدیل‌شده، انحنای عمومی دامنه، انحنای عمودی و افقی دامنه و شاخص رطوبت

جدول ۱- نتایج آمار توصیفی و آزمون احتمال بهنجاری همه متغیرهای وابسته و مستقل بررسی شده.

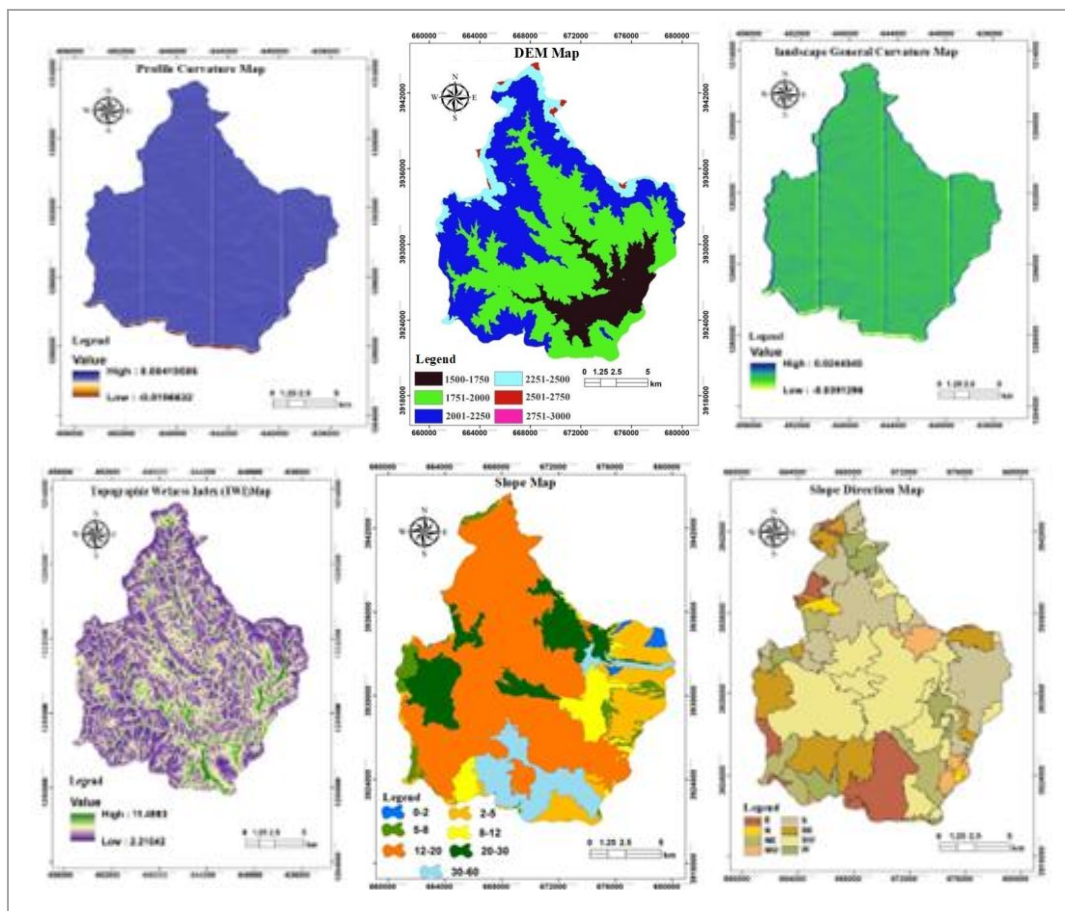
Table1- descriptive statistics and normal probability test of all dependent and independent variables Results.

Skewness	Kurtosis	standard deviation	average	Number of observations	Variables	Row
0.899	0.368	0.745	0.985	105	SOC (%)	1
-0.48	-0.54	20.16	119.7160	105	Blue Band	2
-0.39	-0.47	26.87	122.348	105	Green Band	3
-0.13	-0.19	19.73	108.6321	105	Red Band	4
-0.73	3.71	32.11	93.4192	105	NIR	5
-0.025	0.187	5.84	19.96523	105	SWIR1	6
0.0017	0.321	2.21	6.295124	105	SWIR2	7
0.187	0.988	0.275	3.431	105	Albedo	8
6.15	45.16	5.263	16.37	105	Clay Index	9
0.013	-0.004	0.76	1.11013	105	Carbonate index	10
0.321	1.145	0.816	0.103147	105	Grain Size Index	11
-3.71	20.65	0.092	0.001	105	NDVI	12
0.271	-0.059	0.011	0.133	105	Tasseled-Cap (TC) (Brightness index)	13
3.48	18.62	11.648	-29.7	105	TC greenness	14
11.44	132.27	0.048	0.065	105	TC wetness	15
0.261	-0.07	204	1979	105	RelativeRelief	16
0.473	0.188	6.745	14.718	105	Slope	17
-0.44	-0.51	1.78	5.62	105	Direction	18
0.042	-0.023	0.001	0.0076	105	landscape General Curvature	19
1.065	0.18	0.03	0.084	105	Planform Curvature	20
3.871	-0.37	-0.002	-0.0069	105	Profile Curvature	21
0.879	1.234	2.94	5.49	105	Topographic Wetness Index (TWI)	22

جدول ۲- وردایی و اندازه‌های ویژه عامل‌ها.

Table2- Variance and characteristic values of factors.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2.013	38.751	38.751	2.013	28.751	28.751
2	1.661	23.726	62.477	1.661	23.726	52.477
3	1.252	17.888	80.365	1.252	17.888	70.365
4	0.949	6.559	86.924			
5	0.699	4.993	91.917			
6	0.346	3.943	95.859			
7	0.180	2.178	98.038			
8	0.110	1.962	100.000			



شکل ۲- نقشه‌های متغیرهای طیفی ریخت‌سنجی.

Figure 2- Morphometric spectral variables Maps.

جدول ۳- ماتریس امتیازات عامل‌ها.

Table3- Factors Scores Matrix.

	Mean	Std. Deviation	Analysis N
Albedo	3.43157345	0.275465371	135
NDVI	0.0322790	0.11889083	135
TassGreen	-25.0303	11.34274	135
TassBright	0.13276	0.011233	135
TassWet	0.06497634	0.048085868	135
Slope(degree)	14.719	6.7455	135
Hypso	1979.163	204.0225	135

جدول ۴- ضریب تبیین رابطه وایازی خطی چندگانه.

Table4- The explanatory coefficient of the multiple linear regression relationship.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.825a	0.681	0.632	0.4697835

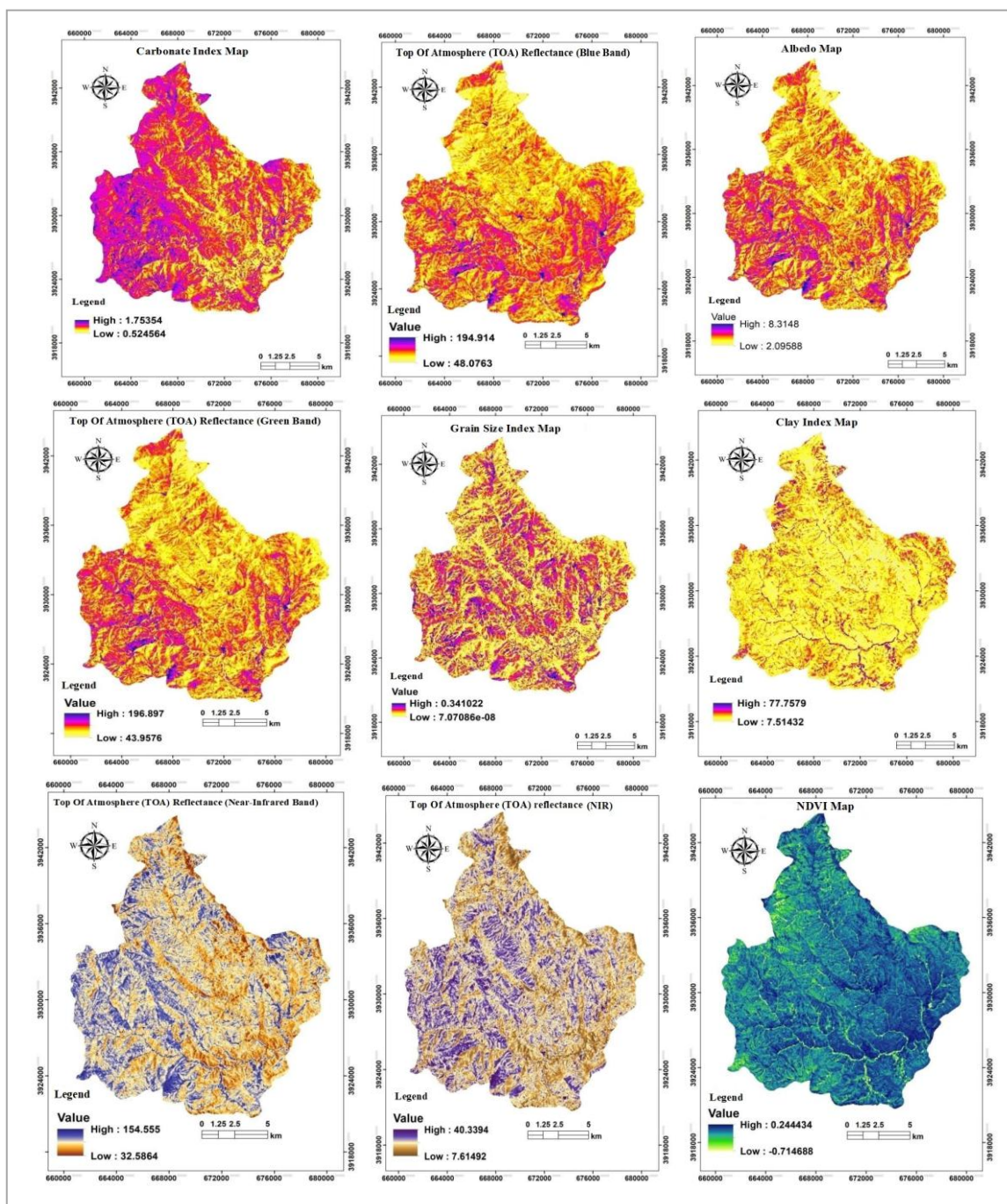
جدول ۵- تجزیه و ردایی رابطه وایازی خطی چندگانه.

Table5- Variance analysis of multiple linear regression relationship.

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F
1	Regression	24.487	3	3.061	13.56**
	Residual	11.476	123	0.221	
	Total	35.963	96		

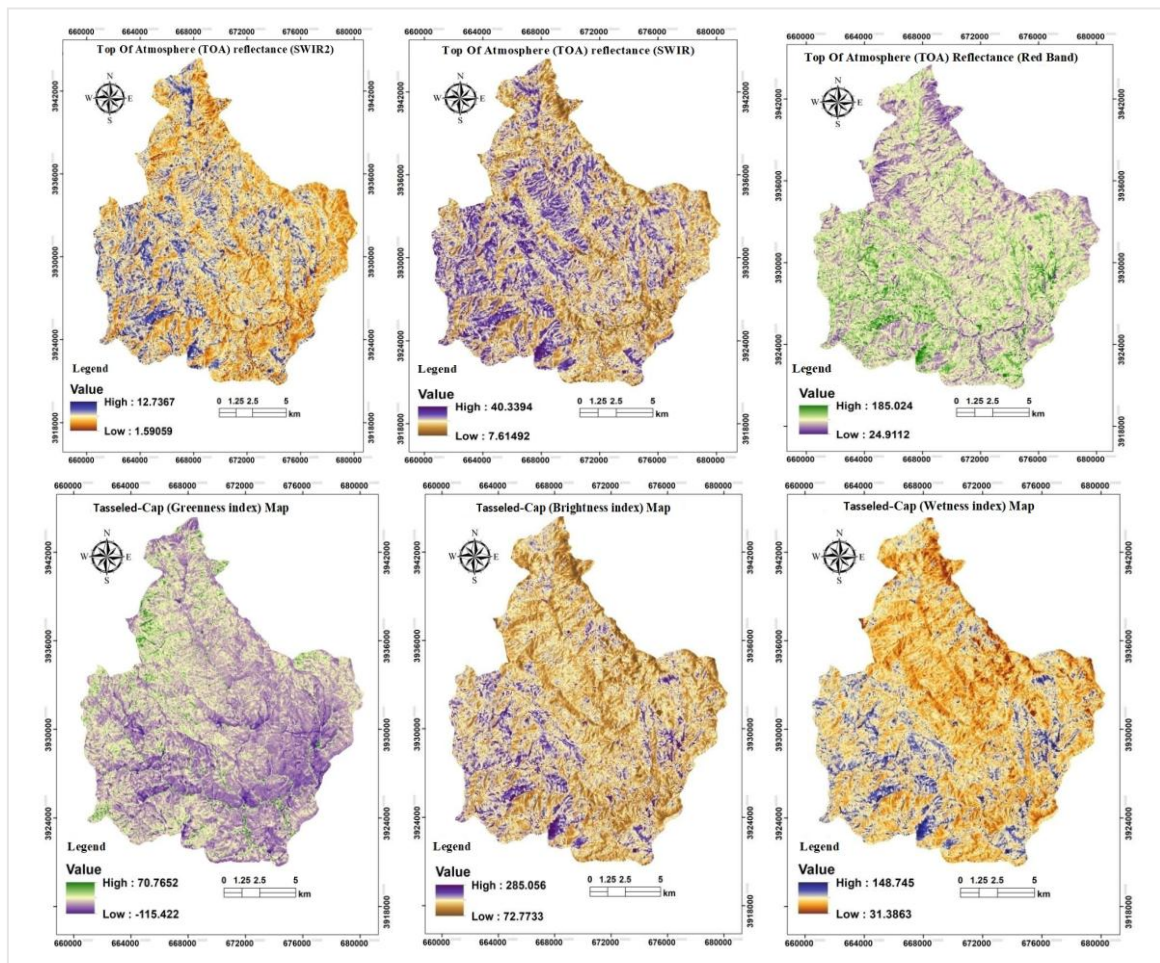
** : Significant difference at the %99 confidence level

** : تفاوت معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪



شکل ۳- نقشه های متغیرهای طیفی انعکاسی

Figure 3- Reflectance spectral variables Maps



شکل ۴- ادامه نقشه متغیرهای طیفی انعکاسی.

Figure 4- Continuation of Reflectance spectral variables Maps.

جدول ۶- ضریب‌های رابطه وایازی خطی چندگانه و آزمون معنی‌داری آنها

Table 6- Multiple linear regression correlation coefficients and their significance test

Regression Model	Coefficient	t	(VIF)
Intercept	1.641	0.378 **	-
PC1	-5.568	-3.81 **	1.781
PC2	1.78	6.17 **	1.519
PC3	0.33	1.27 ns	1.093

** : Significant difference at the 99% confidence level

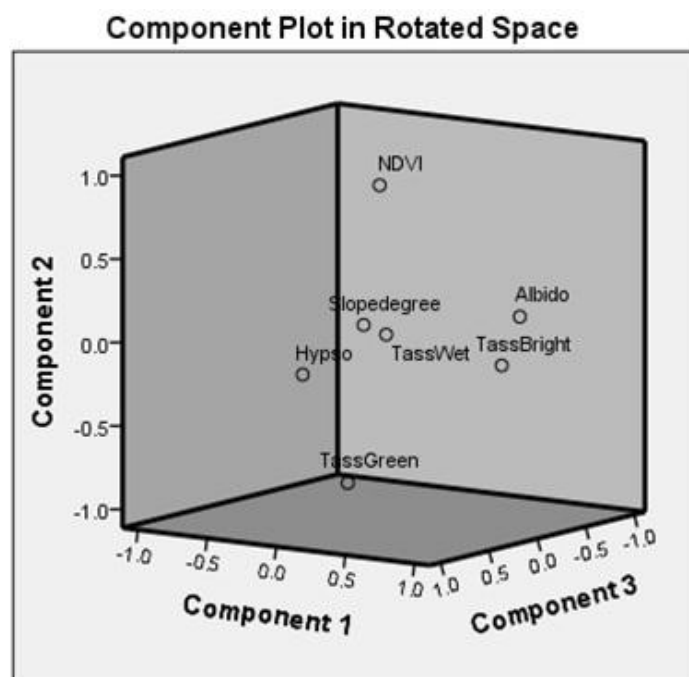
** : تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪

Ns: No significant difference at the 95% confidence level

Ns: نبودن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪

با عدد صفر پذیرفته شد. از این رو، در ادامه متغیر موصوف حذف شد و معادله وایازی با استفاده از متغیرهای PC1 و PC2 محاسبه شد (جدول‌های ۷ تا ۹).

بر اساس نتایج جدول ۶، مدل پیشنهادی، بدون هم‌خطی چندگانه بود ($VIF < 10$)، اما ضریب‌های وایازی متغیر PC3 معنی‌دار نبود. به بیان دیگر فرض صفر آزمون تی مبنی بر احتمال برابری ضریب نامبرده



شکل ۵- محورها و پراکنش متغیرها در نمودار تحلیل PCA.

Figure 5- Axes and distribution of variables in a PCA analysis chart.

جدول ۷- ضریب تبیین رابطه وایازی دو متغیره.

Table 7- The explanatory coefficient of the bivariate linear regression relationship.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.816 ^a	0.666	0.66	0.5100211

جدول ۸- تجزیه و ردایی رابطه وایازی دو متغیره.

Analysis of variance of bivariate regression relationship.

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F
1 Regression	21.656	10	4.331	16.651**
Residual	14.307	96	0.260	
Total	35.963	97		

** : تفاوت معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪

** : Significant difference at the 99% confidence level

مربعات خطا (RMSE) و میانگین نسبی خطای مطلق (MARE) به ترتیب برابر ۰/۱۹۱ و ۰/۱۱۷ بود. اندازه‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده کربن آلی خاک سطحی در ۳۰ نمونه بررسی شده در شکل ۷ نشان داده شده است. نمودار یک به یک داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده متغیر موصوف نیز در شکل ۸ ارائه شده است.

نقشه توزیع مکانی (پهنه‌بندی) کربن آلی خاک در لایه سطحی مراتع منطقه چهلگزی در شکل ۶ نشان داده شده است. این شکل بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۹ به دست آمد.

نتایج اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

آزمون مدل وایازی با استفاده از ۳۰ نمونه نشان داد که ضریب همبستگی اندازه‌های پیش‌بینی شده با اندازه‌های حقیقی کربن آلی ۰/۷۱ بود و ریشه میانگین

وردایی میانگین کربن آلی خاک سطحی در ۵ گونه گیاهی موجود در منطقه پژوهش‌شده در جدول ۱۰ ارائه شده است. برای طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی پژوهش‌شده در گروه‌های دوگانه (کمتر از میانگین کل منطقه و بیشتر از میانگین کل منطقه) از تحلیل میانگین بهنجار یک‌طرفه (ANOM) استفاده شد (شکل ۹).

مقایسه میانگین ذخیره کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی با توجه به وجود ۵ گونه گیاهی در منطقه پژوهش‌شده و با انتخاب تعداد ۳۰ نقطه (مشاهده) تصادفی در هر یک از گونه‌های گیاهی نامبرده، در مجموع ۱۵۰ نقطه تصادفی در سطح منطقه تعیین شد. با استفاده از نقشه پهنه‌بندی تولیدشده (شکل ۶)، اندازه‌های کربن آلی خاک سطحی در این نقاط محاسبه شد. نتایج تجزیه

جدول ۹- ضریب‌های رابطه وابازی دو متغیره و آزمون معنی‌داری آنها.

Table 9- Bivariate regression relationship coefficients and their significance test.

Regression Model	coefficient	t
intercept	1.796	**2.269
PC1	-16.173	** -1.122
PC2	2.893	**6.633

** : تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪

** : Significant difference at the %99 confidence level

جدول ۱۰- تجزیه وردایی میانگین کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی.

Table10- Variance analysis of average surface soil organic carbon in plant types.

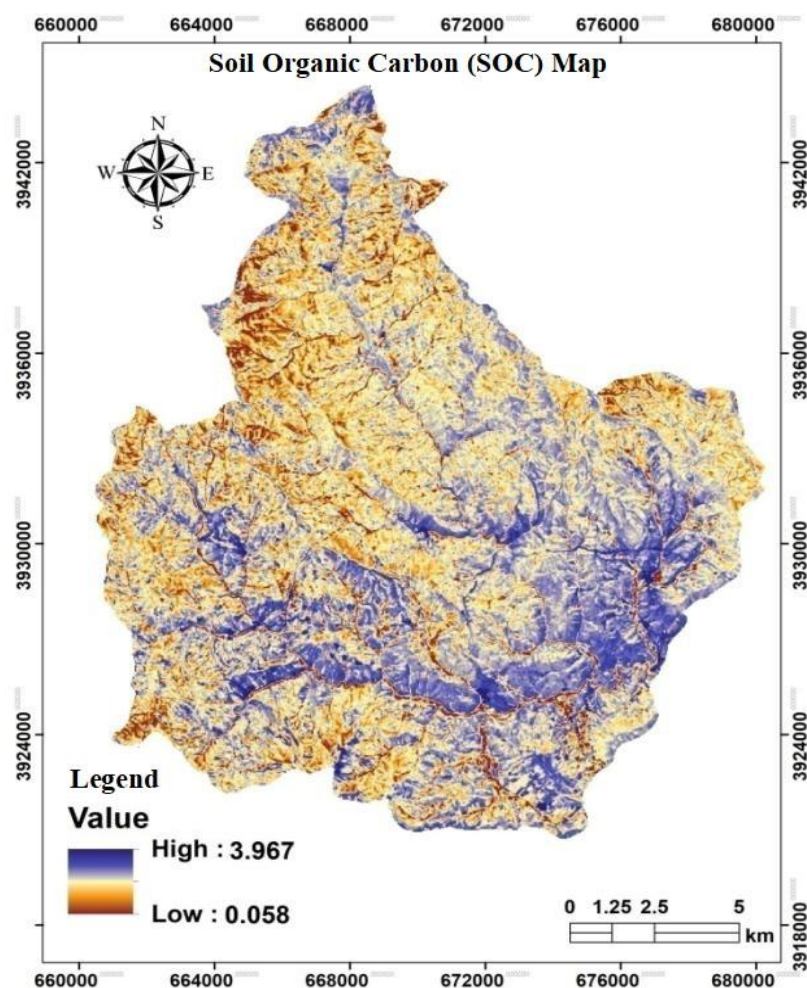
F	Mean Square	Sum of Squares	df	Intercept
12.98 **	0.715	22.16	31	between groups (plant type)
	0.326	16.92	4	within groups (error)
		40.4	134	Total

** : تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪

Ns: نبودن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪

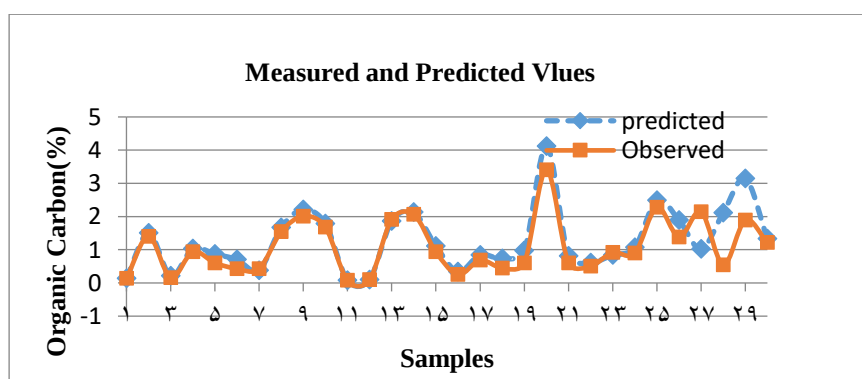
** : Significant difference at the 99% confidence level

Ns: No significant difference at the 95% confidence level



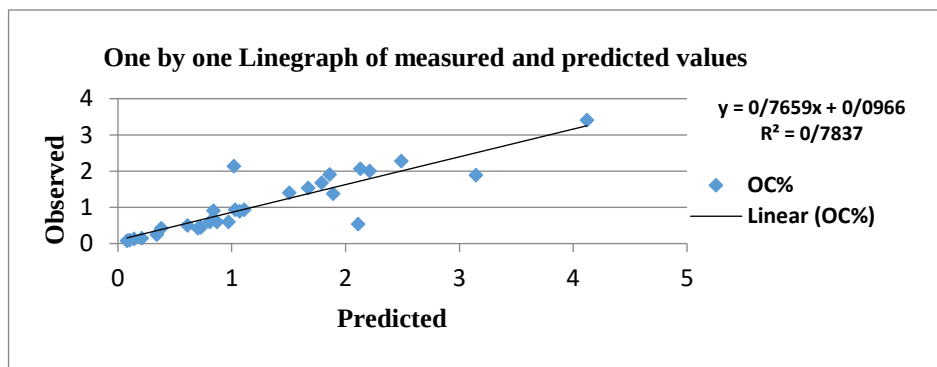
شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی کربن آلی خاک سطحی.

Figure6- Zoning map of surface soil organic carbon.

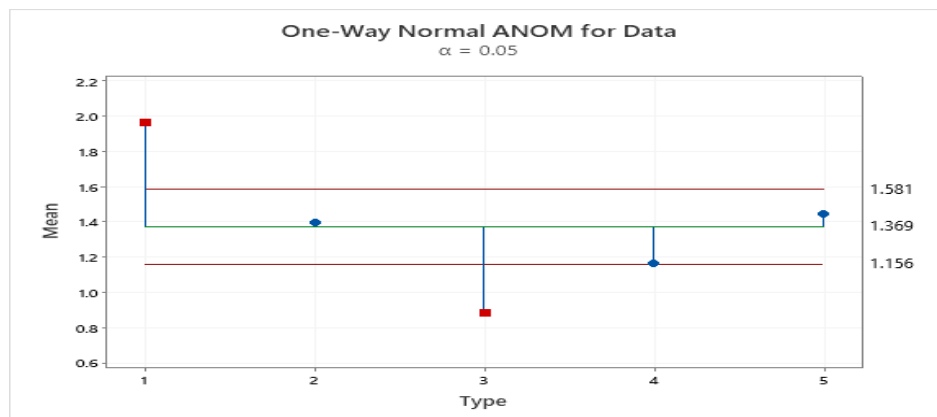


شکل ۷- داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده کربن آلی خاک سطحی در ۳۰ نمونه آزمون شده.

Figure7- Measured and predicted values in 30 tested samples.



شکل ۸- نمودار خطی یک به یک داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده کربن آلی خاک سطحی.
Figure 8- One by one line graph of measured and predicted values.



شکل ۹- گروه‌بندی میانگین کربن آلی خاک سطحی در گونه‌های گیاهی با آزمون ANOM.
Figure 9- Grouping of average surface soil organic carbon in plant types by ANOM test.

شدند. با انجام آزمون تحلیل عاملی اندازه دقت داده‌ها با استفاده از شاخص KMO و آزمون کرویت بارتلت بررسی شد و متغیرهای با کوچکترین وجوه اشتراک و اندازه دقت نمونه‌گیری کوچکتر از ۰/۵ حذف شدند. این آزمون تا دستیابی به نتیجه مناسب تکرار شد و سرانجام ۸ متغیر (آلبیدوی سطح، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار، شاخص‌های روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت تبدیل تسلدکپ، شاخص رس، شیب و بلندی از سطح تراز دریا) به‌عنوان متغیرهای مناسب برای ورود به مدل تحلیل عاملی انتخاب شدند. از میان این متغیرها، ۵ متغیر از نوع طیفی و ۳ متغیر از نوع غیرطیفی بودند. که این نکته بیانگر اهمیت بیشتر متغیرهای طیفی در مقایسه با متغیرهای غیرطیفی در تبیین تغییرات متغیر پاسخ (کربن آلی خاک) بود. یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیکسینی و همکاران (۲۰۱۴) و

با توجه به گستردگی منطقه پژوهش‌شده و بررسی‌های انجام‌شده به‌وسیله دیگر پژوهشگران، متغیرهای مستقل انتخاب‌شده برای پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی، در دو گروه متغیرهای طیفی (به‌دست آمده از تصویرهای لندست ۸) شامل ۱۵ متغیر و متغیرهای غیرطیفی (به‌دست آمده از عامل‌های پستی‌بلندی) شامل هفت متغیر طبقه‌بندی شدند. برای خلاصه کردن این متغیرها، از روش تحلیل عاملی اکتشافی استفاده شد. با توجه به کمی بودن تحلیل عاملی، تبعیت داده‌ها از توزیع بهنجار ضرورت اجتناب‌ناپذیری است (فلوید و ویدامان ۱۹۹۵). با تکرار تحلیل عاملی و بررسی کفایت داده‌ها با استفاده از شاخص KMO و آزمون کرویت بارتلت و شناسایی و حذف متغیرهای با کوچکترین وجوه از میان ۲۲ متغیر مد نظر، فقط ۱۵ متغیر با توزیع بهنجار و مناسب برای انجام تحلیل عاملی اولیه شناخته

موندال و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است. از میان ۵ متغیر طیفی مد نظر، کمترین اندازه ضریب همبستگی با کربن آلی خاک سطحی مربوط به شاخص رس (۰/۱۳) و بیشترین اندازه ضریب همبستگی مربوط به شاخص NDVI (۰/۲۶۲) بود. افزون بر این، نتایج آزمون همبستگی بیانگر وجود همبستگی بسیار زیاد میان شاخص‌های آلبیدوی سطح ($r = -0/541$) و روشنایی تبدیل تسلدکپ ($r = -0/473$) با کربن آلی خاک بودند. از آنجایی که شاخص‌های نامبرده بیانگر درصد بازتاب نور از سطح یک جسم هستند، با رنگ خاک ارتباط مستقیم دارند و از ضریب منفی همبستگی این شاخص‌ها با کربن آلی خاک می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ذخیره کربن آلی خاک، رنگ خاک تیره‌تر و بازتاب طیفی خاک کاهش خواهد یافت. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های ایسدادفال و همکاران (۱۹۸۹) هماهنگی دارد. ضریب همبستگی متغیرهای غیرطیفی (بلندی نسبی و شیب) با کربن آلی خاک سطحی به ترتیب برابر ۰/۱۱۵ و -۰/۱۳ محاسبه شد. از این‌رو، می‌توان گفت که با افزایش بلندی نسبی و شیب به ترتیب ذخیره کربن آلی خاک افزایش و کاهش خواهد یافت. با افزایش بلندی، شکل رویشی گیاهان به‌سوی بوته‌ای شدن گرایش می‌یابد که این قبیل گونه‌ها در مقایسه با شکل‌های رویشی گراس و پهن‌برگان علفی توان انباشت کربن بیشتری دارند (جعفریان و همکاران ۲۰۱۲؛ تمرتاش و همکاران ۲۰۱۲) و همبستگی مثبت و معنی‌دار بلندی نسبی با کربن آلی خاک مؤید این نکته بود. در این راستا، در بیشتر پژوهش‌ها، پستی‌بلندی به‌عنوان یکی از مهمترین متغیرهای تفسیرکننده توزیع مکانی ویژگی‌های مربوط به خاک (اندازه کربن آلی) به‌شمار می‌آید (وانگ و همکاران ۲۰۱۰؛ فلورینسکی ۲۰۰۲؛ مولدر و همکاران ۲۰۱۱ و شوانگارت و جارمر ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این پژوهش میانگین وزنی کربن آلی در خاک سطحی مراتع منطقه پژوهش شده ۱/۲۶٪ به‌دست

آمد. براساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل میانگین بهنجار یک‌طرفه (ANOM) گونه‌های گیاهی بررسی‌شده در دو گروه بیشتر از میانگین کل کربن آلی رویشگاه و کمتر از میانگین کل کربن آلی رویشگاه طبقه‌بندی شدند. الف) در گونه‌های گیاهی ۱، ۲ و ۵ اختلاف میانگین کربن آلی در لایه سطحی خاک آنها با میانگین کل نمونه‌ها (۱۵۰ نمونه) که برابر ۱/۲۶ بود در سطح احتمال ($p < 0/05$) معنی‌دار بود و محتوای کربن آلی آنها به ترتیب ۱/۹۶، ۱/۳۹ و ۱/۴۴ به‌دست آمد. ب) گونه‌های گیاهی ۳ و ۴ اختلاف میانگین کربن آلی در لایه سطحی خاک آنها با میانگین کل نمونه‌ها (۳۶۰ نمونه) که برابر ۱/۲۶ بود در سطح احتمال ($p < 0/05$) معنی‌دار بود و محتوای کربن آلی آنها به ترتیب ۰/۸۸ و ۱/۱۶ به‌دست آمد. بر پایه نتایج این پژوهش و بر اساس مساحت و پستی‌بلندی منطقه و تعداد نمونه‌های برداشت‌شده، پیشنهاد می‌شود برای فراهم آوردن شرایط تغییر میانگین وزنی کربن آلی در خاک سطحی مراتع منطقه، تعداد نمونه‌ها را افزایش داد و نقاط نمونه‌برداری را با پراکنش مناسب‌تری تعیین کرد. بر اساس نتایج این پژوهش و با توجه به قرق بودن مراتع مربوط به گونه ۱ و وضعیت مطلوب آن در مقایسه با دیگر گونه‌ها، پیشنهاد می‌شود با مدیریت فصل چرا و نرخ مناسب دام‌گذاری، شاخص سلامت مراتع و ذخیره کربن آلی خاک را به‌طور قابل توجهی افزایش داد.

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، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه و نهایی مقاله
نویسنده دوم: ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج

فهرست منابع

- Beven K, Kirkby N. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrology Science Bulletin*. 24 (1): 43-69.
<https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Bidwell OW. 1989. Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. *Soil Survey Horizons*. 30(3): 77-79.
<https://doi.org/10.2136/sh1989.3.0077>
- Bouma J, Mcbratney AB. 2013. Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. *Geoderma*. 200-201:130-139.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.011>
- Esadafal R, Girard MC, Courault D. 1989. Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of landsat MSS and TM data. *Remote Sensing of Environment*. 27 (1): 37-46.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90035-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90035-7)
- Florinsky IV, Eilers RG, Manning GR, Fuller LG. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling and Software*. 17(3):295-311.
[https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00067-6)
- Floyd FJ, Widaman KF. 1995. Factor analysis in the development and refinement of clinical assessment instruments. *Psychological Assessment*. 7(3): 286-299.
<https://doi.org/10.1037/1040-3590.7.3.286>
- Franklin J, McCullough P, Gray C. 2000. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California. In Wilson J, Gallant J (Eds) *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Wiley. New York. Chichester. Toronto and Brisbane. pp. 331-353.
<https://www.researchgate.net/publication/43289817>
- Jafari A, Sefidi H, Rahime M. 2023. Investigating the relationship between spatial changes of soil carbon deposition with climatic elements of temperature and precipitation in recent years (Ahangan Basin study area). *Journal of Climate Change Research*. 3 (12):1-20. (InPersian).
<https://doi.org/10.30488/ccr.2022.365475.1100>
- Jafariyan Z, Tayefeh L, Alikhani S and Tamartash R. 2012. Investigation of carbon storage potential of *Artemisia aucheri*, *Agropyron elongatum*, *Stipa barbata*, in Semi-arid Rangelands of Iran (Case study: Peshert Region Kiasar). *Journal of Range and Watershed Management*. 65(2):191-202. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/jrwm.2012.30011>
- Kaiser HF. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*. 20. 141-151.
<https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- Kamali N, Sadeghipour A. 2016. Determining the most important factors related to carbon storage in different land uses (Case study: Shahriar, Iran). *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*. 111: 2-8. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/wmej.2016.112319>
- Khalifehzadeh R, Tamartash RM, Tatian R, Sarajian Maralan MR. 2018. An estimation of topsoil organic carbon by combining factor analysis and multiple regression in semi-steppe rangelands of Lazour, Firouzkooch. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 25 (3): 699-712. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2018.117819>
- Ma H, Peng M, Yang Z, Yang K, Zhao C, Li K, Guo F, Yang Z, Cheng H. 2024. Spatial distribution and driving factors of soil organic carbon in the Northeast China Plain: Insights from latest monitoring data. *Science of The Total Environment*. 911.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168602>
- Mirzashahi k, Bazargan k. 2015. Soil organic matter management. *Soil and Water Research Institute. Technical Publication 535*. (InPersian).
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168602>
- Mondal A, Khare D, Kundu S, Mondal S, Mukherjee S, Mukhopadhyay A. 2017. Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 20(1): 61-70.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.06.004>
- Mulder VL, Bruin SD, Schaepman ME, Mayr TR. 2011. The use of remote sensing in soil and terrain mapping: A review. *Geoderma*. 162 (1): 1-19.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.018>
- Nateghi S, Khalifehzadeh R, Sourì M, Khodagholi M. 2021. Spatial prediction of soil surface organic carbon using spectral and non-spectral factors (Case study; Asuran Summer Rangeland, Semnan Province). *Journal of Range and Watershed Management*. 4 (1): 177-188. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/jrwm.2021.313256.1547>
- Olaya V. 2009. Basic land-surface parameters. *Geomorphometry Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*. 33: 141-169.
[https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00006-8)

- Piccini C, Marchetti A, Francaviglia R. 2014. Estimation of soil organic matter by geostatistical methods: use of auxiliary information in agriculture and environment assessment. *Ecological Indicators*. 36: 301-314. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.009>
- Rousta MJ, Pakparvar M, Soleimanpour SM, Enayati M. 2022. The role of land use and physical properties on soil organic carbon in the flood spreading fields of Kowsar Station. *Watershed Management Research*. 34-4(133): 35-149. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/WMRJ.2021.355443.1426>
- Saha D, Kukal S, Sharma S. 2011. Landuse impacts on SOC fractions and aggregate stability in typic us ochrepts of Northwest India. *Plant Soil*. 339: 457- 470. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0602-0>
- Schwanghart W, Jarmer T. 2011. Linking spatial patterns of soil organic carbon to topography: A case study from south-eastern Spain. *Geomorphology*. 126(1): 252-263. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.11.008>
- Stevenson FJ. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. Second Edition. John Wiley and Sons Pub. 505 p. <https://doi.org/10.1021/ed072pA93.6>
- Tamartash R, Tatian MR, Yousefian M. 2012. The ability of different vegetative forms to carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. *Journal of Environmental Studies*. 38 (62):45-54. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jes.2012.29099>
- Torkamani F, Piri Sahragard H, PahlavanRad MR, Nohtani M. 2020. Determination of soil organic carbon distribution along with affecting factors using random forest model in Ravang Minab watershed. *Agricultural Engineering*. 42 (4): 89-104. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/agen.2020.29872>
- Wang Q, Shan Y, Shi W, Zhao F, Li Q, Sun P Wua Y. 2024. Assessing spatiotemporal variations of soil organic carbon and its vulnerability to climate change: A bottom-up machine learning approach. *Climate Smart Agriculture*. 1 (100025): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.csag.2024.100025>
- Wang Y, Fu B, Lü Y, Song C, Luan Y. 2010. Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Quaternary Research*. 73(1):70-76. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.11.006>
- Xiaoguang N, Shaoliang Z, Chengbo Z, Pengke Y, Hao W, Weitao X, Mingke S, Muhammad A. 2024. Key factors influencing the spatial distribution of soil organic carbon and its fractions in Mollisols. *Catena*. 247: (10) 108522. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108522>
- Yu H, Zha T, Zhang X, Nie L, Ma L, Pan Y. 2020. Spatial distribution of soil organic carbon may be predominantly regulated by topography in a small revegetated watershed. *CATENA*. 188: (9).104459. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104459>
- Zhang P, Wang Y, Sun H, Qi L, Liu H, Wang Z. 2021. Spatial variation and distribution of soil organic carbon in an urban ecosystem from high-density sampling. *Catena*. 204 (9): 105364. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105364>



Spatial Distribution of Surface Soil Organic Carbon in Vegetation Types of Chehelgazi Rangelands, Sanandaj City, Kurdistan Province

Salahudin Zahedi^{1*}, Rostam Khalifehzade²

1- Assistant Professor of Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

2- Researcher, Rangeland Section, Forests and Rangelands Research Institute, AREEO, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Soil organic carbon affects all physical, chemical, and biological properties of the soil, causes soil fertility and is one of the most important soils qualities. Soil organic carbon is important in terrestrial ecosystems from various aspects such as reducing greenhouse gas effects, increasing soil yield and fertility, reducing soil erodibility, increasing water and nutrient retention capacity, etc. Therefore, today it is classified as one of the determinants of soil health and is referred to as the heart of sustainable agriculture and a vital part of production systems. Organic carbon management is an inevitable necessity, especially in soils with organic carbon less than one percent (which includes most of the soils in Iran). The aim of this study was to evaluate the power of spectral and non-spectral soil factors to predict the spatial distribution of topsoil organic carbon in the semi-arid Chehelgazi rangelands of Sanandaj using factor analysis and multiple linear regression.

Materials and Methods

The satellite data used in this study was obtained from the United States Geological Survey (USGS) database. This data is Level 1 data from the Landsat 8 satellite dated 18/06/2019, with path and row numbers 167 and 35, respectively. To prepare the elevation model map of the region, 1: 25,000 topographic maps of the study area, numbers 5360-1 NE, 5360-1NW, and 5361-2 SW, respectively named Satile, Todarmala, and Haneh-Gallan, were used. By conducting field visits and applying the physiognomic-floristic method, the boundaries of homogeneous units were modified and refined, and the final map of the plant species was prepared.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author's E-mail: zahedi51@gmail.com

Citation: Zahedi, S., Khalifehzade, R. 2025. The Spatial Distribution of Topsoil Organic Carbon in Vegetation Types of Chehelgazi Rangelands, Sanandaj City, Kurdistan Province. Watershed Management Research. 38 (3): 100-119.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.368385.1612

Received: 24 January 2025, Received in revised form: 17 February 2025, Accepted: 18 March 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, VOL.38, No.3 Ser. No: 148, Autumn 2025, pp.100-119.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



In order to estimate the parameters of the percentage of canopy cover, litter, stones and pebbles, and bare soil in each plant type, the step-point method was used. Soil samples from different types of rangeland in the Chehelgazi watershed were taken using a stratified random sampling method. In this regard, a number of 135 training sites were selected in the homogeneous units. Of these sites, 105 sites were used to calibrate the model and 30 sites were used to validate it. In each of the training sites, a mixed soil sample includes of 9 observations was taken from a depth of 0 to 20 cm of the surface soil, randomly. In each sample, the SOC content was determined by Walkley-Black titration method. In order to determine an appropriate model for predicting the topsoil SOC, the 21 variables were used. These variables include 14 spectral variables and the seven morphometric variables. Using Factor Analysis (EFA), technique based on exploratory method, the considered variables were classified into three factors (soil color, vegetation, lithology and physical characteristics of the soil). These three factors explained a total of 80.356% of the data changes. Using multiple linear regression, a suitable regression equation ($R^2=0.66$) was calculated to predict topsoil organic carbon.

Results and Discussion

The map of homogeneous units was prepared by overlaying three information layers of elevation classes, slope and slope directions and eliminating micro-units, rocky and inaccessible lands and agricultural lands and consists of 32 homogeneous units. A vegetation map of the region including five major vegetation types. In this study, reflectance spectral variables included 14 variables extracted from satellite images. The non-spectral variables (criterion form) also include seven variables of relative elevation, slope, transformed slope direction, general slope curvature, vertical and horizontal slope curvature, and topographic moisture index, which were obtained from the digital elevation model of the region. Then Measure of sampling adequacy (KMO) was examined by performing a factor analysis test, and variables with a KMO less than 0.5 were eliminated. This test was repeated until a suitable result was achieved, and finally 8 variables (surface albedo, normalized differential vegetation index, vegetation indices, brightness and moisture of the Tesselcap transformation, clay index, slope, and height above sea level) were selected as suitable variables to enter the factor analysis model. The root mean square error and relative mean absolute error of the proposed model were calculated as 0.191 and 0.117, respectively. The comparison of the average topsoil organic carbon capacity in plant species in the studied area using regression analysis was significant ($p<0.01$). Based on the results of this study, by analyzing the one-way normalized mean plot, the studied plant species were classified into two groups: those with more than the average total organic carbon of the habitat (species 1, 2, and 5) and those with less than the average total organic carbon of the habitat (species 3 and 4).

Conclusion and Suggestions

The results of the regression analysis of the average organic carbon storage in the topsoil of the 5 plant species in the study area showed that the average soil organic carbon in the plant species in the study area differed significantly ($p < 0.01$). The average weighted of organic carbon in the topsoil of the rangelands of the study area is 1.26%. According to the results of this study, the area and elevation of the region, and the number of samples collected, it is suggested that in order to provide conditions for changing the average weight of organic carbon in the topsoil of the region's rangelands, the number of samples should be increased and sampling points should be determined with a more appropriate distribution.

Keywords: Exploratory factor analysis, landsat spectral variables, morphometric variables, multiple linear regression, semi-arid rangelands, soil organic carbon

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

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

Authors' Contribution

Author 1: Conceptualization, performing software/statistical analysis, writing the initial and final version of the article

Author 2: Editing and revising the article, controlling the results



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌بخیزداری

شاپا: ۲۹۸۱-۲۰۳۸



مرکز تحقیقات، آموزش و پژوهش کشاورزی

بررسی آثار اقدامات آب‌بخیزداری بر ویژگی‌های سیل در آب‌خیزهای آب‌ماهی و چیکان-مورزیان استان فارس

رویا قهرمانی^۱، ابراهیم امیدوار^{۲*}، سیامک دخانی^۳

۱- دانش‌آموخته دکتری گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

امروزه، در کشورها، ارزیابی طرح‌های آب‌بخیزداری از بنیادی‌ترین مسائل برای برنامه‌ریزی‌های آینده و اجرای طرح‌ها و مدیریت منابع طبیعی است. از این‌رو، با توجه به پیشینه بلندمدت اجرای طرح‌های آب‌بخیزداری در کشور، ارزیابی و بررسی آثار این طرح‌ها ضروری است. اما، نبود تجهیزات لازم به‌منظور اندازه‌گیری و ثبت تغییرات ایجادشده در آب‌خیزها، سبب‌شده تا بهره‌گیری از مدل‌های توزیعی آب‌شناختی برای همانندسازی رفتار آب‌خیز در پیش و پس از اقدامات آب‌بخیزداری، ابزار کارآمدی در دستیابی به این اهداف باشد. امروزه، بهره‌گیری از قابلیت مدل‌های آب‌شناختی در همانندسازی اثرگذاری فعالیت‌های مدیریتی در فرایند تصمیم‌گیری نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. از این‌رو، این پژوهش، با هدف ارزیابی آثار اقدامات آب‌بخیزداری اجراشده بر آب‌دهی اوج، زمان تا اوج و حجم سیل در آب‌خیزهای همگن آب‌ماهی و چیکان-مورزیان، با استفاده از مدل HEC-HMS انجام شد. برای تعیین آثار اقدامات سازه‌ای و زیستی، زمان تمرکز، شیب آبراهه و اندازه شماره منحنی در شرایط پیش و پس از اجرای فعالیت‌ها محاسبه شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش آثار اقدامات سازه‌ای (بند گابیونی، سنگ و سیمان، خشکه‌چین) و زیستی (بادام‌کاری، قرق و نمونه شاهد) آب‌بخیزداری بر سنجه‌های آب‌شناختی (زمان تا اوج، آب‌دهی اوج و حجم سیل) در دو آب‌خیز آب‌ماهی و چیکان-مورزیان، در آب‌خیز سد درودزن بررسی شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir

استناد: قهرمانی، ر.، امیدوار، ا.، دخانی، س. ۱۴۰۴. بررسی آثار اقدامات آب‌بخیزداری بر ویژگی‌های سیل در آب‌خیزهای آب‌ماهی و چیکان-مورزیان استان فارس. پژوهش‌های آب‌بخیزداری، ۳۸ (۳): ۱۳۷-۱۲۰.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368121.1609

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آب‌بخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸ شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۲۰ تا ۱۳۷.

© نویسندگان

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



سپس، شبیه‌سازی بارش و رواناب با استفاده از مدل HEC HMS در دو سناریو با و بدون اقدامات آبخیزداری انجام شد. در سناریوی بدون اقدامات آبخیزداری، داده‌های لازم از بررسی‌های تفصیلی اجرایی که به‌وسیله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس گردآوری شده بود، تهیه شد. در سناریوی با اقدامات آبخیزداری، آثار آب‌شناختی سازه‌ها با اثرگذاری روی شیب و زمان تمرکز آبخیز و آثار اقدامات زیستی با تغییرات اندازه‌های میانگین وزنی CN زیرآبخیزها در زمان قبل و بعد از این اقدامات، بررسی شد. سپس، سنجش‌های فیزیکی آبخیز، (مساحت زیرآبخیزها، میانگین وزنی شماره منحنی (CN)، تلفات اولیه و زمان تأخیر) محاسبه شد. به‌منظور تبدیل بارش به رواناب، روش SCS برای هر دو سناریوی قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری به‌کار گرفته شد. نقشه شماره منحنی (CN) بر اساس تلفیق داده‌های گروه‌های آب‌شناختی خاک و کاربری زمین در محیط نرم‌افزار ARC GIS 10.8 تهیه شد. همچنین، زمان تمرکز با استفاده از روش کرپیچ محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی آثار اقدامات آبخیزداری در آبخیز مطالعه‌شده بیانگر ابعاد گوناگون اثرگذاری این اقدامات بر رفتار آب‌شناختی آبخیز بود. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که اجرای اقدامات سازه‌ای آبخیزداری سبب تغییر قابل توجه اندازه زمان تأخیر در شرایط قبل و بعد از اجرای عملیات شد. به‌طوری که بیشترین تغییر زمان تأخیر مربوط به زیرآبخیز F (۲۸/۳۲ دقیقه) و کمترین اندازه آن مربوط به زیرآبخیز ۹ (۴ دقیقه) بود. این اندازه تغییر ناشی از شیب، طول آبراهه اصلی، نفوذپذیری خاک، مساحت آبخیز و غیره بود. اندازه تغییر زمان تا اوج در قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری در زیرآبخیزهای ۱۱، ۹ و F به‌ترتیب ۱۰، ۱۰ و ۶۰ دقیقه به‌دست آمد. بیشترین تعداد سازه در این زیرآبخیزها بود و نتایج نشان‌دهنده آثار اجرای سازه‌ها بودند. افزون بر این، بیشترین و کمترین اندازه تغییر آب‌دهی در قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری به‌ترتیب مربوط به زیرآبخیز F (۲۷/۷ مترمکعب بر ثانیه) و زیرآبخیز ۹ (۳/۵ مترمکعب بر ثانیه) بود. اجرای اقدامات سازه‌ای بر اندازه حجم رواناب اثرگذار نبود. در این پژوهش، نتایج ارزیابی آثار اقدامات زیستی آبخیزداری بیانگر آن بود که این اقدامات باعث کاهش CN شدند. اندازه کاهش CN در شرایط قبل و بعد از اقدامات انجام‌شده در زیرآبخیزهای ۱۱، ۹ و F به‌ترتیب ۱۰، ۵ و ۵ بود. این موضوع سبب کاهش آب‌دهی اوج از ۷۹/۷، ۵/۴ و ۱۹۷/۵ به ۷۵/۸، ۳/۵ و ۱۴۷/۷ مترمکعب بر ثانیه شد. همچنین، اجرای اقدامات زیستی، باعث کاهش قابل‌توجه حجم رواناب شد. اما، روی زمان تا اوج اثرگذار نبود. در مجموع آثار اقدامات زیستی بر کاهش حجم رواناب خروجی بیشتر از اقدامات سازه‌ای بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش آثار اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیل (آب‌دهی اوج، اندازه رواناب خروجی و زمان تا اوج) ارزیابی شد و سازه‌های آبی آبراهه‌ای و اقدامات زیستی بررسی شدند. نتایج نشان داد که سازه‌های آبخیزداری به‌طور مؤثر در کاهش آب‌دهی اوج سیلاب و افزایش زمان رسیدن به اوج تأثیرگذارند. اثر سازه‌های آبخیزداری بر حجم کل رواناب خروجی معنادار نبود. همچنین، نتایج ارزیابی اقدامات زیستی، بیانگر اثر قابل‌توجه این اقدامات بر کاهش رواناب خروجی و آب‌دهی اوج بود و بر زمان تا اوج تأثیرگذار نبود. این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت تلفیق اقدامات سازه‌ای و زیستی در مدیریت جامع آبخیز بود. تلفیق این دو رویکرد سبب افزایش اثربخشی اقدامات انجام‌شده در مهار سیلاب، حفاظت خاک و مدیریت منابع آب شد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که طرح‌های مشابه در دیگر مناطق با شرایط اقلیمی و گیاهشناسی مشابه نیز انجام شوند تا بتوان از نتایج به‌دست آمده در تصمیم‌گیری‌ها و بهبود مدیریت آبخیز استفاده کرد.

واژگان کلیدی

آبخیزهای آب‌ماهی و چیکان-مورزیان، آب‌دهی اوج، اقدامات زیستی، رواناب، مدل HEC-HMS

مقدمه

ارزیابی آثار اقدامات آبخیزداری برای برنامه‌ریزی‌های آینده و مدیریت منابع طبیعی ضروری است (اختصاصی و همکاران ۲۰۲۱). از این رو، با توجه به پیشینه بلندمدت اجرای طرح‌های آبخیزداری در کشور، ارزیابی و بررسی آثار این طرح‌ها ضروری است. اما، نبود تجهیزات لازم برای ثبت تغییرات رخ داده در بسیاری از آبخیزها باعث دشواری کار شده است. امروزه، بهره‌گیری از قابلیت مدل‌های آب‌شناختی به‌منظور همانندسازی آثار فعالیت‌های مدیریتی در فرایند تصمیم‌گیری، نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (رو و همکاران ۲۰۰۵). مدل HEC-HMS نسخه توسعه‌یافته HEC-1 تحت ویندوز است که به‌وسیله مهندسان آب مرکز مهندسی ارتش آمریکا برای همانندسازی رواناب سطحی یک آبخیز نسبت به بارندگی‌های معین طراحی شده است (یواس‌ای ای ۲۰۰۰). در این پژوهش برای همانندسازی فرایند بارش رواناب آبخیز از مدل ریاضی HEC-HMS استفاده شد. در راستای بررسی و ارزیابی اقدامات آبخیزداری می‌توان به پژوهش‌های همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد. آنها با استفاده از مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS، جریان و آثار اجرای سدهای اصلاحی، در آبخیز تسنگون تایوان را شبیه‌سازی کردند و دریافتند که آثار اقدامات سازه‌ای بر ویژگی‌های جریان، در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. رادون (۱۹۹۹) با استفاده از مدل تجزیه سیلاب، آثار اقدامات مهارکننده سیل (جنگل‌کاری، تراس‌بندی، سدهای ذخیره‌ای و مهارکننده و ترکیب آنها با یکدیگر) را در حوضه‌پترا در اردن بررسی کرد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد اقدامات انجام‌شده سبب کاهش چشم‌گیر آبدهی اوج و حجم سیلاب شد. در استان گلستان، مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) آثار آب‌شناختی اقدامات آبخیزداری در آبخیز جعفرآباد را با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که آثار اجرای اقدامات آبخیزداری بر بهبود وضعیت آب‌شناختی آبخیز جعفرآباد گلستان در همه معیارهای بررسی‌شده کمتر از ۱/۵٪ و قابل توجه نبود. بر اساس نتایج این پژوهشگران، اقدامات سازه‌ای در کاهش شیب آبراهه و افزایش زمان

تمرکز و در پی آن کاهش اوج سیل اثرگذار بود اما، این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبود (بر پایه آزمون تی‌جفت). یوشیکاوا و همکاران (۲۰۱۰) طرح سد پدی فیلد در بخش کامیهایاشی در ژاپن را بررسی کردند. برای ارزیابی اثرات سازه مهارکننده سیل بر حجم سیل و خسارت‌های آن از ترکیب تحلیل آب‌شناسی استفاده کردند. نتایج بیانگر آن بود که سازه مهارکننده سیل باعث ۲۶٪ کاهش آبدهی شد. در پژوهشی، نجفی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۸) آثار اقدامات آبخیزداری را با استفاده از مدل HEC-HMS در آبخیز رامیان برآورد کردند. نتایج نشان داد که بیشترین کاهش آبدهی اوج و حجم سیل به‌ترتیب در دوره‌های بازگشت ۱۰ و ۲۰ سال رخ داده است و با افزایش دوره بازگشت، اثر اقدامات آبخیزداری بر سیل کاهش یافت. همچنین، اثر اقدامات زیستی در کاهش سیل در مقایسه با اقدامات سازه‌ای بیشتر بود. مؤذنی‌نقندر و همکاران (۲۰۲۲) اثرات اقدامات آبخیزداری بر رواناب و هدررفت خاک در آبخیز نخاب بشرویه را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که اجرای اقدامات آبخیزداری باعث افزایش زمان به اوج رسیدن سیل به اندازه ۶۰ و ۳۰ دقیقه شد. از سوی دیگر، آبدهی اوج برای دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۵۴ و ۲۸٪ کاهش یافت. همچنین، هنگامی که آبگیر سازه‌ها از رسوبات پر بودند، سبب افزایش قابل‌توجه زمان رسیدن به اوج و کاهش آبدهی اوج و حجم سیلاب شدند. انجام اقدامات آبخیزداری سبب کاهش فرسایش ویژه آبخیز از ۱۰/۱۸ به ۹/۸ تن در هکتار در سال و رسوب‌دهی ویژه از ۳/۱۶ به ۲/۹ تن در هکتار در سال شد. در ایلام توکلی و همکاران (۲۰۲۳) اثرات ساخت سازه‌های آبخیزداری بر آبدهی بیشینه در آبخیز گل‌گل را ارزیابی کردند و دریافتند که اجرای اقدامات مناسب و مدیریت‌شده سبب کاهش قابل توجه آبدهی بیشینه سیلاب‌ها شد. در پژوهشی قضاوی و امیدوار (۲۰۲۳) اثرات ساخت بندهای اصلاحی آبخیزداری بر آبدهی اوج و حجم سیلاب را بررسی کردند و دریافتند که بندهای اصلاحی ساخته‌شده باعث کاهش آبدهی اوج، افزایش زمان پایه آب‌نگار، افزایش زمان تا اوج آب‌نگار و کاهش حجم سیلاب منطقه شد.

در حیرت نور (۲۰۲۴) اثربخشی طرح های آبخیزداری بر آبدهی اوج سیلاب در آبخیز حسین آباد را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که اقدامات آبخیزداری باعث کاهش آبدهی اوج، شماره منحنی و افزایش زمان تا اوج شد. ما و همکاران (۲۰۲۴) واکنش فرسایش خاک به پوشش گیاهی و ایجاد تراس در یک آبخیز کوچک در فلات لس چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که ایجاد تراس بندی باعث افزایش پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش هدررفت خاک شد. در شمال اتیوپی ولدجی و همکاران (۲۰۲۴) اثرات اقدامات آبخیزداری بر آب زیرزمینی را ارزیابی کردند. نتایج بیانگر آن بود که اجرای اقدامات باعث افزایش سطح آب زیرزمینی، افزایش کیفیت آب، افزایش آبدهی چشمه ها، افزایش سطح آب چشمه ها، ظهور چشمه های جدید شد. افزون بر این، به دلیل افزایش آب در دسترس، سطح زمین های زراعی آبی افزایش یافت. نتایج پژوهش های پیشین به خوبی نشان دهنده ارزیابی های گوناگون طرح های آبخیزداری اجرا شده در کشور و دیگر نقاط جهان است. از آنجایی که طراحی، اجرا و در نتیجه کارایی طرح های آبخیزداری وابسته به شرایط محیطی و اقتصادی- اجتماعی آبخیز است، ارزیابی این طرح ها در مناطق گوناگون کشور ضروری می باشد. همچنین، بررسی سوابق پژوهشی بیانگر آن است که تاکنون در زمینه استفاده از مدل HEC-HMS برای برآورد تأثیر اقدامات آبخیزداری بر متغیرهای آب شناختی بررسی های پرشماری در دنیا انجام شده است. بنابراین، در این پژوهش، آثار اقدامات آبخیزداری بر آبدهی اوج، زمان تا اوج و حجم رواناب خروجی در دو آبخیز آبماهی و چیکان-مورزیان با استفاده از مدل HEC-HMS انجام شد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مطالعه شده

در این پژوهش، اثرات اقدامات سازه ای (بند گابیونی، سنگ و سیمان، و خشکه چین) و زیستی (بادام کاری، قرق، و نمونه شاهد) آبخیزداری بر ویژگی های آب شناختی شامل زمان تا اوج، آبدهی اوج، و حجم

سیل در دو آبخیز آبماهی و چیکان-مورزیان، از زیرآبخیزهای آبخیز سد درودزن، ارزیابی شد. بر پایه مدارک موجود در اداره کل منابع طبیعی استان فارس تمام اقدامات اجرا شده در آبخیز چیکان-مورزیان و آبماهی در جدول ۱ ارائه شده است. آبخیز چیکان-مورزیان در ۸۰ کیلومتری شمال شهر سپیدان یکی از زیرآبخیزهای رود کر و سد درودزن است. موقعیت جغرافیایی این منطقه در میان محدوده 51° و 26° و $01/23''$ تا $37/03' 37/03''$ طول شرقی و 30° و 25° تا $88/15''$ عرض شمالی است. مساحت این آبخیز برابر 12333 هکتار و بیشینه و کمینه بلندی به ترتیب 3125 و 1811 متر بود (شکل ۱). بیشترین و کمترین اندازه بارندگی به ترتیب در زیرآبخیز F ($571/2$ و میلی متر) و زیرآبخیز H ($471/6$ میلی متر) بود. همچنین، بیشترین و کمترین بارش روزانه به ترتیب $68/1$ و $58/2$ میلی متر بود. فرسایش خاک در این آبخیز بیشتر شامل فرسایش آبی بود، که در اثر عمل انجماد و انقباض آب و انرژی آب تشدید شده است. هرچند اشکال فرسایشی حرکت های توده ای نیز در برخی مناطق به شکل پراکنده مشاهده شد. گسترده ترین شکل فرسایش، فرسایش سطحی بود که شدت آن به دلیل وضعیت ویژگی های محلی در نقاط گوناگون، متفاوت بود. کاربری های زمین در منطقه شامل زراعت آبی، زراعت دیم، درخت کاری و باغ، نهال کاری، مرتع و چراگاه فصلی، زمین های حفاظت شده، مناطق مسکونی، رود و مسیل بود (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس ۲۰۰۲).

آبخیز آبماهی با مساحت $158/7$ کیلومترمربع در فاصله 82 کیلومتری شمال غربی شهرستان شیراز است. موقعیت جغرافیایی این منطقه در میان محدوده $1' 46''$ و 52° تا 52° و $31' 14''$ طول شرقی و 30° و $2' 25''$ تا 30° و $36' 57''$ عرض شمالی است (شکل ۱). بیشینه و کمینه بلندی این آبخیز به ترتیب 3070 و 1769 متر از سطح دریا است. بر پایه بررسی های انجام شده در واحدهای آب شناختی آبخیز نامبرده، بیشترین و کمترین بارندگی سالانه 1065 و 652 میلی متر است. بیشینه بارندگی روزانه در این آبخیز نیز 79 میلی متر

است. افزون بر این، بخشی از بارندگی آبخیز برف است که ضریب برف‌گیری سالانه ۰/۱۴ محاسبه شد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس ۲۰۰۲). آبخیز آب‌ماهی دارای ۴۰ زیرآبخیز اصلی و ۱۷ زیرآبخیز فرعی و آبخیز چیکان-مورزیان دارای ۱۲ زیرآبخیز است. که با توجه به پرشمار بودن زیرآبخیزها، زیرآبخیزهای ۹ و ۱۱ از آبخیز آب‌ماهی و زیرآبخیز F از آبخیز چیکان-مورزیان که بیشترین اقدامات آبخیزداری در آنها انجام شده بود، انتخاب شد و محاسبات در این زیرآبخیزها انجام شد.

جدول ۱- مساحت و تعداد اقدامات سازه‌ای و زیستی آبخیزداری در آبخیزهای چیکان-مورزیان و آب‌ماهی.

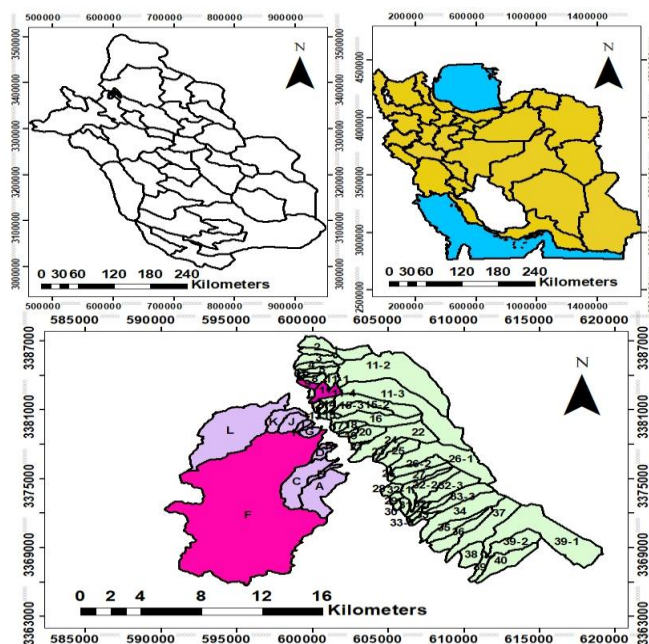
Table 1- Area and Number of Structural and Biological Watershed Management Operations in the Chikan-Mourzian and Ab-Mahi Watershed.

Sub basin	Project Name	Area (hectares)
Chikan-Morzian	Medicinal Plants	9.95
	Forest Enrichment	6025.83
	Patch Planting	2679.47
	Afforestation	2598.37
	Medium-term Protection & Enclosure	11313.62
	Long-term Protection & Enclosure	493.48
Ab-Mahi	Enclosure	11807.10
	Direct Seeding	2000
	Protection & Enclosure	1035
Ab-Mahi Chikan-Morzian	Dry-Stone Check Dams	68 units
	Stone and Cement Check Dams	40 units
	Gabion Structures	20 units

روش پژوهش

محاسبات فیزیکی مربوط به مدل آبخیز انجام شد و آمار و اطلاعات لازم (بارش و سنجش‌های مد نظر، شماره منحنی میانگین وزنی، تلفات اولیه و زمان تأخیر) زیرآبخیزها تهیه شد. در مدل HEC-HMS برای تبدیل بارش به رواناب از روش SCS برای شرایط قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری استفاده شد. نقشه شماره منحنی (CN) آبخیز، از تلفیق نقشه‌های گروه‌های آب‌شناختی خاک و کاربری زمین تهیه شد. با توجه به کوچک بودن مساحت زیرآبخیزها، برای برآورد زمان تمرکز و زمان تأخیر آنها از روش کریچ استفاده شد.

مدل HEC-HMS به وسیله مرکز مهندسی آب ارتش ایالات متحده آمریکا، برای تهیه آبنگار سیل ارائه شد. این مدل از مدل‌های ریاضی رایانه‌ای بود و شامل چندین زیر مدل در بخش‌های رواناب، جریان سطحی، آب‌پایه و جریان کانالی است. از این مدل برای شبیه‌سازی رفتار آب‌شناختی آبخیزها استفاده می‌شود. مدل نامبرده سه بخش اصلی به نام‌های مدل آبخیز، مدل اقلیمی و شاخص‌های مهارکننده دارد (یواس‌ای ای ۲۰۰۰). این پژوهش در دو آبخیز مشابه و همگن از نظر زمین‌شناسی، گیاهشناسی، اقلیم و پوشش گیاهی، در دو سناریو با و بدون اقدامات آبخیزداری انجام شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده و زیر آبخیزهای بررسی شده در استان فارس و ایران.

Figure 1- Geographical location of the studied area and investigated sub watershed in the Fars Province and Iran.

برداشت‌های میدانی در سال ۱۴۰۱، تهیه شد. برای محاسبه CN وزنی، شماره منحنی هر یک از واحدهای آبخیز با استفاده از جدول تعیین شماره منحنی در مساحت تحت پوشش آن ضرب شد. سپس، مجموع حاصل ضربها به مساحت کل تقسیم شد و شماره منحنی میانگین وزنی آبخیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (مهدوی ۲۰۰۷).

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * A_i)}{\sum A_i} \quad (1)$$

CN: شماره منحنی آبخیز، CN_i: شماره منحنی هر کاربری و A_i: مساحت هر کاربری است.

تلفات آبخیز

در این پژوهش، محاسبه تلفات رواناب آبخیز، از روش شبکه‌ای SCS یا روش عدد منحنی و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2)$$

P_e و P: به ترتیب بلندی بارش مؤثر و بلندی بارندگی (میلی‌متر) و I_a: تلفات اولیه (میلی‌متر) است و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$I_a = a.S \quad (3)$$

تهیه نقشه گروه‌های آب‌شناختی خاک

برای تهیه نقشه گروه‌های آب‌شناختی خاک، از نقشه خاکشناسی ارائه شده در گزارش مطالعات تفصیلی اجرایی اداره کل منابع طبیعی استان فارس مربوط به سال ۱۳۸۱ استفاده شد. در نقشه خاکشناسی بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک، ساختمان خاک، سنگریزه خاک، ژرفا، نوع سنگ بستر، سرعت نفوذپذیری خاک تحتانی و پوشش گیاهی و... در هر واحد تعیین شده است. با استفاده از این ویژگی‌ها و با تأکید بر بافت خاک، ژرفا و سرعت نفوذپذیری خاک تحتانی نقشه گروه‌های آب‌شناختی خاک با توجه به تعاریف استاندارد گروه های خاک SCS تهیه شد (مهدوی ۲۰۰۷).

تهیه نقشه شماره منحنی آبخیز

برای تهیه نقشه CN آبخیز ابتدا نقشه کاربری زمین با نقشه گروه‌های آب‌شناختی خاک در محیط GIS تلفیق شد. سپس، نقشه‌ای با واحدهای کوچک تر به دست آمد. این نقشه برای هر یک از زیرآبخیزها در حالت قبل از اقدامات زیستی بر اساس اطلاعات پایه سال ۱۳۸۱ و در حالت بعد از این اقدامات، با فرض ثابت بودن گروه‌های آب‌شناختی خاک، بر اساس نقشه کاربری زمین و اطلاعات پوشش گیاهی به دست آمده از

با اثرگذاری روی شیب و زمان تمرکز آبخیز بررسی شد (روشنی ۲۰۰۲). در این راستا، شیب آبراهه اصلی بعد از اقدامات آبخیزداری، نیمی از شیب اولیه آبراهه، در نظر گرفته شد. سپس، زمان تمرکز از رابطه کریچ و زمان تأخیر بعد از عملیات محاسبه شد. باید توجه داشت که کاهش مستقیم شیب آبراهه اصلی به نیمی از اندازه اولیه، به‌عنوان یک روش استاندارد و جهان‌شمول برای کمی‌سازی اثرات تمام انواع سازه‌های آبخیزداری، بدون یک رابطه نظری مستحکم است. با این حال، این رویکرد به‌عنوان یک تقریب عملی و نمونه‌ای از تغییرات قابل توجه آبی ناشی از اجرای این سازه‌ها در نظر گرفته شده است. مبنای انتخاب این روش بر این نکته استوار است که سازه‌های آبخیزداری (مانند سدهای اصلاحی و ...) با ایجاد شکست در نیم‌رخ طولی، افزایش زبری، و ایجاد ذخیره موقت، به‌طور مؤثری شیب خط انرژی جریان و سرعت میانگین آن را کاهش می‌دهند (فینر و همکاران ۲۰۱۱؛ بویکس‌فایوس و همکاران ۲۰۰۸). از آنجایی که شیب آبراهه یک سنجه مهم در بسیاری از رابطه‌های رایج در محاسبه زمان تمرکز و زمان تأخیر است (میشرا و سینک ۲۰۰۳) و این سنجه‌ها مستقیماً بر شکل آب‌نگار تأثیرگذارند، کاهش شیب به‌عنوان یک متغیر جایگزین برای لحاظ کردن اثر تجمعی این سازه‌ها بر افزایش زمان پیمایش آب در آبراهه انتخاب شد. نتایج پژوهش‌های پرشماری نشان داده‌اند که این سازه‌ها سبب افزایش قابل توجه (گاهی بیش از ۵۰٪) زمان تأخیر آبخیز می‌شوند (لی و همکاران ۲۰۱۷؛ وانگ و همکاران ۲۰۲۲؛ یوان و همکاران ۲۰۲۲) که این نکته توجیه‌کننده لزوم یک تعدیل قابل توجه در سنجه‌های مؤثر بر زمان پیمایش مانند شیب است. در این پژوهش، انتخاب ضریب ۰/۵ به‌عنوان یک اندازه شاخص برای نشان دادن این تأثیر شدید بود و هدف آن بررسی سناریویی است که در آن سازه‌ها به‌شکل مؤثری پاسخ آب‌شناختی آبخیز را کاهش داده‌اند. همان‌گونه که در کشور در پژوهش‌های پیشین نیز از این رویکرد استفاده شده است (نورعلی و قهرمان ۲۰۱۷؛ قرمزچشمه و همکاران ۲۰۲۰؛ قضاوی و امیدوار ۲۰۲۳). در سناریوی با اقدامات زیستی نیز تأثیر آب‌شناختی با تغییرات اندازه‌های میانگین وزنی CN زیرآبخیزها در زمان قبل و بعد از این اقدامات، بررسی شد. افزون بر این، مدل در

A: ضریبی است که اندازه آن ۰/۲ است (مزیدی و کوشکی ۲۰۱۵) و S: بیشترین ظرفیت ذخیره (میلی متر) است و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (۴)$$

زمان تمرکز و زمان تأخیر

در این پژوهش، برآورد زمان‌های تمرکز و تأخیر به‌عنوان دو متغیر لازم برای اجرای مدل از روش کریچ و با استفاده از رابطه‌های ۵ و ۶ انجام شد.

$$T_c = 0.0195L^{0.77} S^{-0.385} \quad (۵)$$

$$T_l = 0.6T_c \quad (۶)$$

T_c : زمان تمرکز (دقیقه)، L: طول آبراهه اصلی (متر)، S: شیب آبراهه اصلی (متر به متر) و T_l : زمان تأخیر آبخیز (دقیقه) است.

محاسبه رگبار طرح

برای تعیین پاسخ آبخیز در شرایط سیلابی و تک پدیده، مدل HEC-HMS نیازمند اطلاعات یک رگبار برای هر زیرآبخیز می‌باشد. با توجه به اینکه ایستگاه چمریز (نزدیکترین ایستگاه به هر دو آبخیز) بدون اطلاعات بارندگی در گام‌های زمانی کوتاه بود، اطلاعات رگبارهای طرح از منحنی شدت-مدت فراوانی منطقه مطالعه‌شده و الگوی توزیع بارندگی رگباری در مناطق نیمه‌خشک ایران به‌دست آمد. در این راستا، بر اساس پژوهش توکلی و همکاران (۲۰۲۳) رگبارهایی با دوره بازگشت ۲۵ سال، با تداومی برابر با زمان تمرکز زیرآبخیزهای بررسی‌شده و مطابق با الگوی بارندگی ۵۰٪ در نیمه اول و ۵۰٪ در نیمه دوم بارش پیشنهادشده به‌وسیله اسفندیاری و همکاران (۱۴۰۱)، محاسبه شد.

ارزیابی آب‌شناختی اقدامات آبخیزداری

برای تعیین پاسخ آبخیز نسبت به رگبارهای طرح، با توجه به نوع اقدامات آبخیزداری سازه‌ای یا زیستی، تغییراتی در ورودی‌های مدل اعمال شد. سپس، رفتار سیلابی زیرآبخیزهای ۹ و ۱۱ از آبخیز آب‌ماهی و زیرآبخیز F از آبخیز چیکان-مورزیان (با بیشترین اقدامات آبخیزداری انجام‌شده)، شبیه‌سازی شد. در سناریوی بدون اقدامات، از اطلاعات موجود در گزارش مطالعات تفصیلی اجرایی آبخیز چیکان-مورزیان و آب‌ماهی که به‌وسیله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس در سال ۱۳۸۱ تهیه شده بود، استفاده شد. در سناریوی با اقدامات سازه‌ای، ویژگی‌های آب‌شناختی

یک شرایط جداگانه با اعمال هم‌زمان اقدامات سازه‌ای و زیستی نیز اجرا و نتایج آن نیز بررسی شد.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی آثار اجرای اقدامات سازه‌ای آبخیزداری روی اندازه‌های زمان تأخیر، زمان تا اوج، آب‌دهی اوج و حجم سیل خروجی زیرآبخیزها در جدول ۲ ارائه شده است. این یافته‌ها بیانگر تغییر اندازه زمان تأخیر در شرایط قبل و بعد از اجرای عملیات بود. به‌طوری که بیشترین تغییر زمان تأخیر در زیرآبخیز F (۲۸/۳۲ دقیقه) و کمترین اندازه آن مربوط به زیرآبخیز ۹ (۴ دقیقه) بود. این اندازه تغییر به دلیل عامل‌هایی مانند شیب، طول آبراهه اصلی، نفوذپذیری خاک و مساحت آبخیز بود. اثرگذاری اقدامات سازه‌ای در به تأخیر انداختن جریان سیلاب در زیرآبخیز F، به دلیل وسعت بیشتر و کم‌بودن شیب کلی و شیب آبراهه اصلی این آبخیز، بیشتر بود. بررسی اندازه تغییر زمان تا اوج، در شرایط قبل و بعد از اجرای عملیات در زیر آبخیزهای ۱۱، ۹ و F به ترتیب ۱۰، ۱۰ و ۶۰ دقیقه بود. این تغییرات بیانگر نقش اقدامات سازه‌ای اجراشده در کاهش سرعت جریان آبراهه و افزایش زمان نفوذ آب به درون زمین بود که سبب تأخیر در جریان سیل و افزایش مدت زمان تمرکز آبخیز شد. این یافته با نتایج مؤدنی نقندر و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر بررسی اثرات اجرای اقدامات آبخیزداری بر رواناب و فرسایش خاک هم‌راستا است. این پژوهشگران دریافتند که اقدامات آبخیزداری

باعث افزایش زمان به اوج رسیدن سیلاب به اندازه ۶۰ و ۳۰ دقیقه و کاهش آب‌دهی اوج به اندازه ۵۴ و ۲۸٪ به ترتیب برای دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ ساله شدند. نتایج بررسی آب‌دهی اوج نشان داد که بیشترین و کمترین تغییرات آب‌دهی جریان قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری به ترتیب مربوط به زیرآبخیز F (۲۷/۷ مترمکعب بر ثانیه) و زیرآبخیز ۹ (۳/۵ مترمکعب بر ثانیه) بود. اجرای اقدامات سازه‌ای بر اندازه رواناب خروجی بی اثر بود (جدول ۲). در این راستا، در استان گلستان، مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) اثرات اقدامات سازه‌ای آبخیزداری بر آب‌دهی اوج را در دو آبخیز رودبار قشلاق و جعفرآباد بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که بندهای اصلاحی سبب کاهش آب‌دهی اوج از ۰ تا ۱/۲ مترمکعب بر ثانیه شدند در حالی که بر کاهش حجم سیلاب خروجی آبخیز بی اثر بودند. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های این پژوهش هم‌مانگی دارد. در پژوهشی، وانگ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از یک مدل آب‌پویایی آثار بندهای اصلاحی را بر ویژگی‌های سیلاب آبخیز بررسی کردند و دریافتند که اجرای سازه‌های آبخیزداری سبب کاهش قابل توجه جریان سیل و افزایش نفوذ رواناب در مناطق بالادست سدها شدند. در آبخیزی در فلات لس چین، یوان و همکاران (۲۰۱۹) اقدامات آبخیزداری را ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند که اقدامات آبخیزداری باعث کاهش چشم‌گیر آب‌دهی اوج و حجم سیل شدند که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است.

جدول ۲- اندازه‌های زمان تأخیر، زمان تا اوج، آب‌دهی اوج و حجم سیل خروجی زیر آبخیزها در دوره بازگشت ۲۵ ساله در شرایط قبل و بعد از اقدامات سازه‌ای.

Table 2- Values of lag time, time to peak, peak discharge, and flood output volume for the sub-watersheds during a 25-year return period under both pre- and post-structural watershed management conditions.

Subbasin	Lag time (min)		Time to Peak (min)		Flood volume (mm)		Peak discharge (m ³ /s)	
	Before	after	Before	after	Before	after	Before	after
9	13.09	17.09	50	60	13.02	13.02	5.4	2
11	54.53	71.21	270	290	12.93	12.88	79.7	67.8
F	92.58	120.9	300	360	23.94	23.94	197.5	169.8

نتایج بررسی آثار اقدامات زیستی آبخیزداری

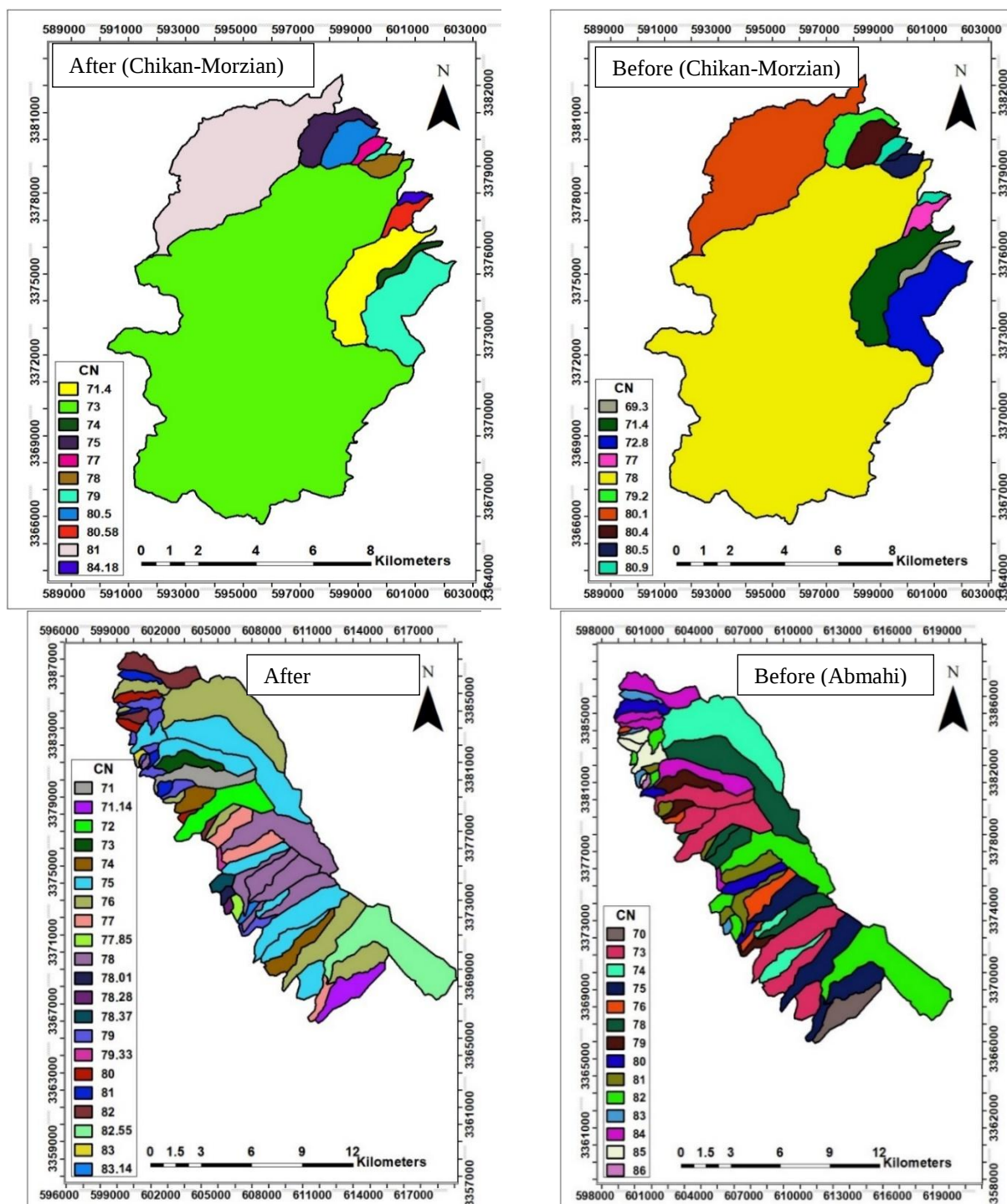
در این پژوهش، نتایج اقدامات زیستی آبخیزداری بیانگر کاهش CN در زیرآبخیزهای ۱۱، ۹ و F به ترتیب ۱۰، ۵ و ۵ در شرایط قبل و بعد از اجرای اقدامات بود (شکل ۲). اندازه‌های شماره منحنی، زمان تا اوج، آب‌دهی اوج و حجم سیلاب خروجی زیرآبخیزها در دوره بازگشت ۲۵ ساله در شرایط قبل و بعد از اقدامات زیستی در جدول ۳ ارائه شده است. کاهش CN به عنوان شاخصی از ظرفیت تولید رواناب سطحی، بیانگر افزایش ظرفیت نفوذ آب به خاک و کاهش اندازه رواناب ناشی از بارش پس از اجرای اقدامات زیستی بود. این تغییرات در CN به شکل مستقیم سبب کاهش آب‌دهی اوج سیلاب در این زیرآبخیزها شد. به طوری که آب‌دهی اوج از ۷۹/۷، ۵/۴ و ۱۹۷/۵ مترمکعب بر ثانیه به ۷۵/۸، ۳/۵ و ۴۷/۷ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافت. کاهش قابل توجه حجم رواناب نیز از دیگر دستاوردهای اجرای اقدامات زیستی در این پژوهش بود. نتایج نشان داد که حجم رواناب در زیرآبخیزهای ۹، ۱۱ و F، به ترتیب از ۱۳/۰۲، ۱۲/۹۳ و ۲۳/۹۴ به ۸/۴۶، ۱۱/۹۱ و ۱۷/۷۲ میلی‌متر کاهش یافت (جدول ۳). کاهش حجم رواناب، به دلیل تأثیر بیشتر اقدامات سازه‌ای بود. این یافته بیانگر نقش مهم پوشش گیاهی و مدیریت کاربری زمین در کاهش تولید رواناب سطحی است. نتایج نشان داد که اثر اقدامات زیستی بر زمان تا اوج سیلاب معنادار نبود. در حالی که این اقدامات، سبب کاهش قابل توجه آب‌دهی اوج و حجم رواناب شدند. از سوی دیگر، بر افزایش سرعت جریان به نقطه خروجی آبخیز، بی اثر بودند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش نجفی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۸)

مبنی بر ارزیابی آثار اقدامات آبخیزداری با استفاده از مدل HEC-HMS در آبخیز رامیان، هم‌راستا است. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلاب در دوره‌های بازگشت گوناگون کاهش یافت؛ به گونه‌ای که بیشترین کاهش آب‌دهی اوج و حجم جریان به ترتیب در دوره‌های بازگشت ۱۰ و ۲۰ ساله رخ داد و با افزایش دوره بازگشت، آثار اقدامات آبخیزداری بر سیلاب کاهش یافت. افزون بر این، بیشترین کاهش سیلاب به دلیل اقدامات زیستی انجام شده بود و اثر اقدامات سازه‌ای در آبخیز رامیان ناچیز بود. در مجموع، آثار اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی آبخیز رامیان مثبت ارزیابی شد. در پژوهشی، قطب‌الدین و همکاران (۲۰۱۹) نقش اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های آبنمود سیل را بررسی کردند و دریافتند که اجرای اقدامات زیستی باعث کاهش آب‌دهی اوج و حجم سیل شد. این یافته‌ها با نتایج این پژوهش هم‌هنگی دارد. در قم، فروتن (۲۰۲۱) آثار اقدامات زیستی بر سیل‌خیزی در آبخیز پردیس را بررسی و گزارش کرد که اجرای اقدامات‌های آبخیزداری باعث کاهش سیل در آبخیز نامبرده شد که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. بررسی نتایج دو رویکرد نشان داد که اثر اقدامات سازه‌ای بر افزایش زمان تأخیر و کاهش آب‌دهی اوج بیشتر بود. در حالی که نقش اقدامات زیستی بر کاهش حجم رواناب خروجی مهم‌تر بود. این نتایج بر اهمیت تلفیق اقدامات زیستی و سازه‌ای در برنامه‌های جامع مدیریت آبخیزداری برای دستیابی به اهداف پایدار در مهارکردن سیلاب و حفاظت از منابع آب و خاک تأکید دارد.

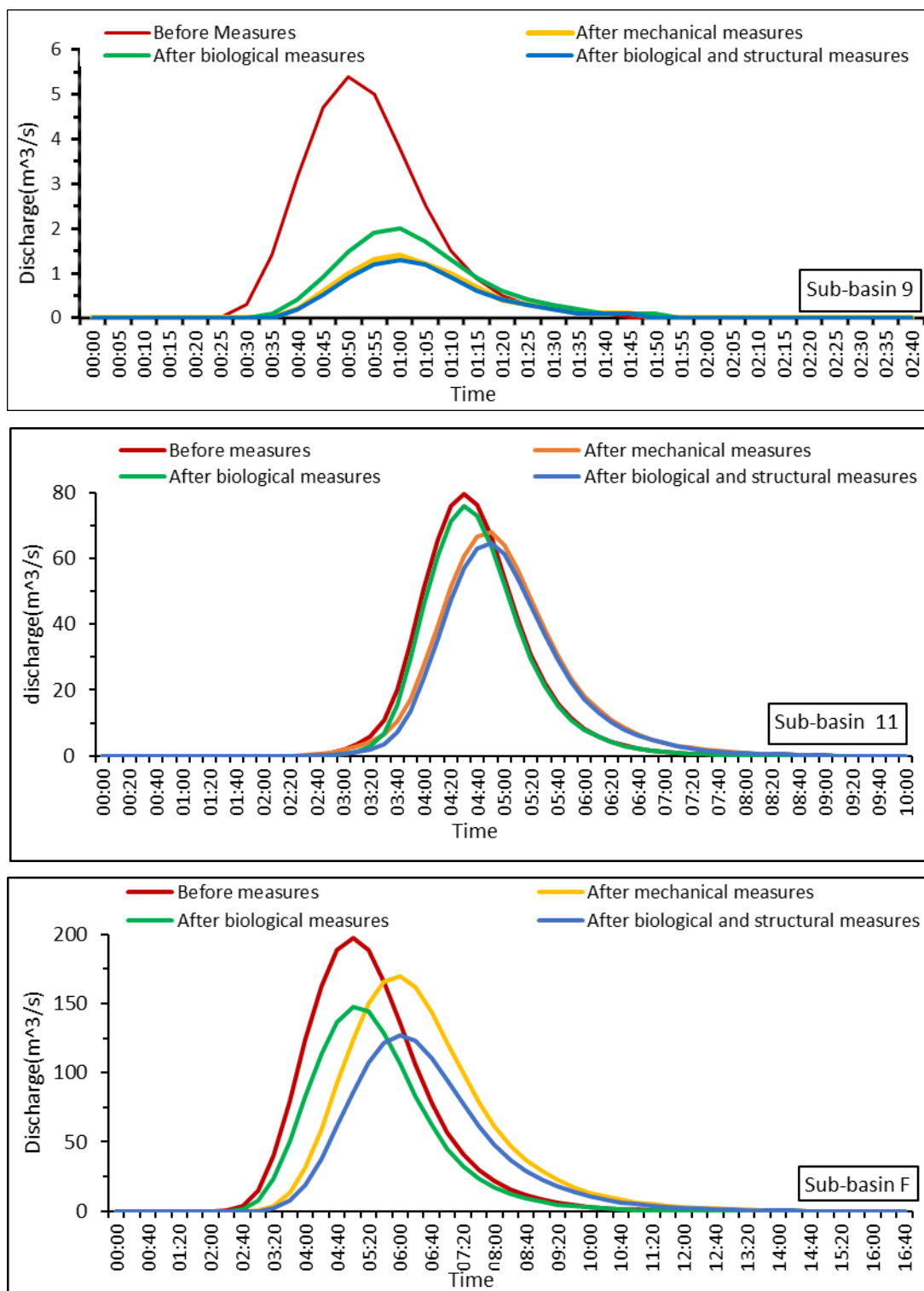
جدول ۳- اندازه‌های شماره منحنی، زمان تا اوج، آب‌دهی اوج و حجم سیلاب خروجی زیرآبخیزها در دوره بازگشت ۲۵ ساله در شرایط قبل و بعد از اقدامات زیستی.

Table 3- Values of Curve number, Time to peak, flood volume of the sub-basins in the 25-year return period before and after the biological measures.

Subbasin	Curve number		Time to Peak (min)		Flood Volume (mm)		Peak discharge (m ³ /s)	
	Before	after	Before	after	Before	after	Before	after
9	85	80	50	50	13.02	8.46	5.4	3.5
11	85	75	270	270	12.93	11.91	79.7	75.5
F	78	73	300	300	23.94	17.72	197.5	147.7



شکل ۲- نقشه CN زیرآبیزهای چیکان - مورزبان و آب‌ماهی در شرایط قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری.
Figure 2- CN map of the Chikan-Morzian and Ab-Mahi sub- watershed before and after the watershed management measures.



شکل ۳- آبنگار سیلاب برای رگبار با دوره بازگشت ۲۵ ساله در شرایط پیش و پس از اقدامات آبخیزداری.
Figure 3 - The flood hydrograph for the 25-year return period barrage in the conditions before and after the watershed management activities.

شرایط آبخیز مطالعه شده است. در پژوهشی بروکز و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که مدیریت آبخیز با تغییر پوشش گیاهی و اجرای ساختارهای آبخیزداری سبب تعدیل معنادار پاسخ آب‌شناختی آبخیز شد. این یافته‌ها با نتایج این پژوهش هم‌راستا است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، آثار اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیل (آبدهی اوج، اندازه رواناب خروجی و زمان تا اوج) ارزیابی شد. در این راستا، سازه‌های آبی آبراه‌های و اقدامات زیستی بررسی شد. نتایج پژوهش بیانگر آثار چشم‌گیر اقدامات آبخیزداری بر توسعه مدیریت سیل بود. نتایج نشان داد که سازه‌های آبخیزداری در کاهش آبدهی اوج و افزایش زمان تا اوج، اثرگذار بودند اما، بر اندازه رواناب خروجی بی‌اثر بودند. افزون بر این، نتایج نشان داد که به دلیل اجرای اقدامات زیستی آبخیزداری رواناب خروجی و آبدهی اوج کاهش یافت. اما این اقدامات بر زمان تا اوج بی‌اثر بودند. اقدامات آبخیزداری، به‌ویژه با رویکرد مدیریت بوم‌نظامی و تلفیق اقدامات سازه‌ای و زیستی، ابزار کارآمدی در کاهش خطر سیلاب، حفاظت خاک و بهبود مدیریت منابع آب در آبخیزهای مطالعه شده بود. توسعه و اجرای برنامه‌های جامع مدیریت آبخیز بر مشارکت جوامع محلی و سودبران تأکید دارد و در دستیابی به اهداف پایدار و پایش و ارزیابی پیوسته اثرات طرح‌های آبخیزداری بر شاخص‌های آب‌شناختی، بوم‌شناختی و اجتماعی، برای انطباق با شرایط متغیر و بهبود عملکرد طرح‌ها ضروری است. پیشنهاد می‌شود از نتایج این پژوهش، برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در اجرای طرح‌های مشابه در دیگر آبخیزها استفاده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود با انجام پژوهش‌های بیشتر در زمینه مدل‌سازی آب‌شناختی و با استفاده از مدل‌های پیچیده‌تر و داده‌های بیشتر درک بهتری از فرآیندهای آب‌شناختی فراهم کرد. برای دستیابی به پیش‌بینی دقیق‌تر رفتار سیلاب، پایش و ارزیابی پیوسته طرح‌های آبخیزداری، تقویت مشارکت جوامع محلی، پیشنهاد می‌شود طرح‌های مشابه در دیگر

شبیه‌سازی رفتار سیلاب برای دوره بازگشت ۲۵ ساله بر پایه منحنی IDF با گام‌های زمانی (۱۸۰، ۹۰ و ۳۰ دقیقه) برای زیرآبخیزهای F9 و ۱۱ و تغییرات آبنگار در شرایط قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این پژوهش، به رغم کاهش آبدهی اوج بعد از اقدامات آبخیزداری، زمان تا اوج سیل افزایش یافت. این یافته به دلیل کاهش شیب، افزایش ذخیره حجم رواناب و افزایش پوشش گیاهی بود. با توجه کاهش سرعت جریان و افزایش ذخیره‌سازی آب در آبخیز، شکل آبنگار سیلاب تخت‌تر شد. این تغییر به‌عنوان یک ویژگی مطلوب در مدیریت سیلاب، بیانگر تخلیه سیلاب در مدت زمان بیشتر بود. از سوی دیگر، رخداد سیلاب‌های ناگهانی و شدید به جریان‌های ملایم‌تر و پایدارتر تبدیل شد. کاهش آبدهی اوج و افزایش زمان تأخیر سبب کاهش قابل توجه خسارت‌های سیل شد و زمان بیشتری برای مدیریت و مقابله با آن فراهم شد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش بیانگر آن بود که اقدامات سازه‌ای و زیستی تأثیر به‌سزایی بر ویژگی‌های آب‌شناختی آبخیز مطالعه شده داشت. با این حال، اندازه تأثیر این اقدامات به ویژگی‌های خاص هر زیرآبخیز و نوع و مقیاس اقدامات اجرا شده، بستگی دارد. به این دلیل، در نظر گرفتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد هر آبخیز در برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های آبخیزداری اهمیت زیادی دارد. نتایج شبیه‌سازی، نشان‌دهنده آثار متفاوت انواع اقدامات آبخیزداری بر کاهش آبدهی اوج بود. بر اساس شکل ۳، اقدامات سازه‌ای-زیستی ترکیبی و اقدامات صرفاً سازه‌ای سبب بیشترین کاهش آبدهی اوج سیلاب طراحی شده، شدند. این یافته بر اهمیت در نظر گرفتن نوع و ترکیب اقدامات آبخیزداری در برنامه‌ریزی‌های مدیریت سیلاب تأکید دارد. اقدامات سازه‌ای با ایجاد موانع فیزیکی در مسیر جریان و کاهش مستقیم سرعت آن، و اقدامات زیستی با افزایش نفوذ و ذخیره آب، به‌طور هم‌افزا در کاهش آبدهی اوج سیلاب‌های بزرگ نقش دارند. این موضوع نیازمند بررسی دقیق‌تر ساز و کارهای عملکرد هر یک از این اقدامات در

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در زمینه 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: بازدید میدانی، جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش مقاله، بررسی نتایج

نویسنده دوم: راهنمایی، مفهوم‌سازی، بازدید میدانی،

بازبینی و تنظیم نهایی متن مقاله، بررسی نتایج

نویسنده سوم: پیشنهاد موضوع، مفهوم‌سازی،

راهنمایی، بررسی نتایج

سپاسگزاری

از همکاری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس که نویسندگان مقاله را در انجام مراحل گوناگون این پژوهش (در اختیار قرار دادن داده، تهیه وسیله نقلیه برای انجام بازدیدهای میدانی) یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

- Brooks KN, Ffolliott PF, Magner JA. 2012. Hydrology and the management of watersheds. John Wiley and Sons. 4th Edition. 560 p.
- Boix-Fayos C, de Vente J, Martínez-Mena M, Barberá GG, Castillo V. 2008. The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. *Hydrological Processes: An International Journal*. 22(25): 4922-4935.
- Ekhtezaei MR, Chazgi J, Khajoui M. 2021. Evaluating watershed management projects and providing appropriate strategies and solutions for their development using SWOT and AHP models in arid and semi-arid regions. *Watershed Engineering and Management*. 13(1): 55-64. (In Persian).
- <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.127843.1721>
- Esfandiyari Darabad F, Pourganji Z, Mostafazadeh R, Aghaie M. 2022. Comparison of effective rainfall conversion methods to surface runoff in flood hydrographic simulation of Nanekaran Watershed, Ardabil Province. *Hydrogeomorphology*. 9(32): 86-63.
- Fiener P, Auerswald K, Van Oost K. 2011. Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments-A review. *Earth-Science Reviews*. 106(1-2): 92-104.
- Foroutan E. 2021. Evaluation of the effect of biological watershed management measures on flood Risk-Case study: Pardisan Watershed in Qom Province. *Quarterly Scientific-Research Journal of Geographic Information "Sepehr"*, 30(120):171-186. (In Persian).
- <https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.251061>
- General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province. 2002. Detailed executive studies report of the watersheds of Ab-Mahi and Chikan - Morzyan.
- Ghazavi R, Omidvar E. 2023. Evaluation of the effects of constructed rehabilitation dams on maximum and volume of watershed discharge. *Journal of Technical Strategies in Water Systems*. 1(1): 55-67. (In Persian).
- <https://www.magiran.com/p2661313>
- Ghermermezcheshmeh B, Nikchah frahani S O, Agha Razi H. 2019. Effects of watershed management practices on some of flood characteristics change in Haftan Watershed. *Journal Watershed Management Research*. 10(19):106-116.
- <https://doi.org/10.29252/jwmr.10.19.106>
- Ghotbaldin F, Nohtani M, Dehghani M. 2019. Role of watershed management Practices on Flood Hydrograph Characteristics (Case Study: Kakhk Paired Watershed). *Watershed Management Research Paper*: 10(19): 204-210. (In Persian).
- <https://doi.org/10.29252/jwmr.10.19.204>
- Li E, Mu X, Zhao, G, GAO P, Sun W. 2017. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. Pp.1791-1803.
- López-Moreno JI, Beguería S, García-Ruiz JM. 2002. Influence of the Yesa reservoir on Floods of the Aragón River Central Spanish

Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences*. 6(4): 753-762.

Ma T, Liu B, He L, Dong L, Yin B, Zhao Y. 2024. Response of soil erosion to vegetation and terrace changes in a small watershed on the Loess Plateau over the past 85 years. *Geoderma*, 443, 116837.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116837>

Mahdavi M. 2007. *Applied hydrology* (Volume 2). 8th Edition, Tehran University Press. 427 p. (In Persian). <http://press. Ut.ac.ir>

Mazidi A, Kooshki S. 2015. Simulation of rainfall-runoff process and estimate of flood with HEC-HMS model in Khorramabad Catchment Area. *Journal of Geography and Developmen*. 13(41): 1-10. (In Persian).

<https://doi.org/10.22111/gdij.2015.2236>

Memarian Khalil Abad H, Yousefi M, Aghakhani Afshar AM. 2017. Identification and separation of flooding source regions and investigating the impact of watershed management operations on the peak discharge (Case study: Bar Watershed, Neyshabour, Iran). *Journal of Water and Soil Conservation Research*. 25(1):35-59. (In Persian).

<https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.12528.2723>

Mishra SK, Singh VP. 2013. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer Science and Business Media. 514 p.

Moazeni Noghondar SR, Alikhani F, Hatami Yazd A. 2022. Assessment of the effect of watershed management operations on runoff and soil erosion (Case study: Nakhah Boshrouyeh Basin). *Pasture and Watershed Scientific-Research Journal*. 75(2):317-299. (In Persian).

<https://doi.org/10.22059/jrwm.2022.335726.1632>

Moore CM. 1969. Effects of small structures on peak flow in: effects of watershed changes on stream flow. Texas Press. pp. 101-117.

Mostafazadeh R, Sadoddin A, Bahremand A, Mostafazadeh R, Saadeddin A, Bahramand A R, Bardi Sheikh V. 2009. Assessing hydrological effects of Jafar-Abad Watershed management project in Golestan Province using HEC-HMS model. In *Proceedings of the Fifth National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran*. Gorgan, Iran, April 2009. pp. 1-12. (In Persian).

<https://civilica.com/doc/87190>.

<https://doi.org/20.1001.1.22519300.1389.2.2.3.2>

Najafinejad A, Telvari A, Tajiki M. 2018. Evaluation of watershed management measures on flooding using HEC-HMS model in Ramian watershed. *Iran Water Research*. 12(3): 19-26. (In Persian). <http://iwrj.sku.ac.ir>

Noorali M, Ghahraman, B. 2016. Assessment of Watershed Management Projects on Flood Hydrograph using HEC-HMS Model (Case Study: Goosh-Bahreh Watershed). *Journal Watershed Management Research*. 7(13): 71-60. (In Persian).

<https://doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.71>

Noori H. 2024. Evaluating the effectiveness of watershed projects on peak flood discharge (Case study: Hossein Abad Jiroft Watershed). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 18(64): 76-89. (In Persian).

Radwan A. 1999. Flood Analysis and Mitigation for Area in Jordan. *Journal of Water Resources and Management*. 125 (3): 170-177.

Roo AD, Schmuck G, Perdigao V, Thielen J. 2005. The influence of historic land use changes and future planned land use scenarios on floods in the Oder catchment. *Physics and Chemistry of the Earth*. 28(28): 1291 -1300.

Shieh Ch L, Guh Y R, Wang Sh. 2007. The application of range of variability approach to the assessment of a checkdam on riverine habitat alteration. *Environmental Geology*. 1(52):427-435.

<https://doi.org/10.1007/s00254-006-0470-3>

Shokoohi AR. 2007. Assessment of Urban Basin Flood Control Measures Using Hydrogis Tools. *Journal of Applied Science*. 7(13): 1726-1733. (In Persian).

<https://doi.org/10.3923/jas.2007.1726.1733P>

URL: <http://jwmsei.ir/article-1-1150-fa.html>

Tavakoli M, Kohzadi M, Ebrahimi H. 2023. Evaluation and Prediction of the Effects of Watershed Check Dams on Peak Flows (Case Study: Gol-Gol Watershed, Ilam). *Integrated Watershed Management*. 3(2): 67-79. (In Persian).

<https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2002536.1078>

USACE 2000. *HEC-HMS. Technical Manual*. Hydrological Engineering Center, Davis, CA. 187 p.

Wang T, Hou J, Li P, Zhao J, Li Z, Matta E, Hinkelmann R. 2021. Quantitative assessment of check dam system impacts on catchment flood characteristics—a case in hilly and gully area of the Loess Plateau, China. *Natural Hazards*. 105(3): 3059-3077.

Woldearegay K, Grum B, Hessel, R, Steenbergen F, Fleskens L, Yazew E, Tamene L, Mekonnen K, Reda T, Haftu M. 2024. Watershed management, groundwater recharge and drought resilience: An integrated approach to adapt to rainfall variability in northern Ethiopia. *Jornal of International Soil and Water Conservation, Research*. 12(3):663-683. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.009>

Yoshikawaa N, Nagaob N, Misawac, S. 2010. Evaluation of the flood mitigation effect of a Paddy Field Dam project. *Agricultural Water Management*. 97(2): 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.09.017>

Yuan S, Li Z, Chen L, Li P, Zhang Z, Zhang, J, Wang A. 2022. Effects of a check dam system on the runoff generation and concentration processes of a catchment on the Loess Plateau.

International Soil and Water Conservation Research. 10(1): 86-98.

Yuan S, Li Z, Li P, Xu G, Gao H, Xiao L, Wang T. 2019. Influence of check dams on flood and erosion dynamic processes of a small watershed in the Loess Plateau. *Water*. 11(4): 834-850. <https://doi.org/10.3390/w11040834>.



Assessment of the Impact of Watershed Management Measures on Flood Characteristics in the Ab-Mahi and Chikan-Morzyan Watersheds, Fars Province

Roya Ghahremani¹, Ebrahim Omidvar², Siamak Dokhani³

- 1- Ph.D. Graduated in Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran
2- Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Today, in countries, evaluating watershed management project is one of the most fundamental aspects of future planning for implementation projects and natural resource management. Therefore, given the long-term history of implementing watershed management projects in the country, it is necessary to evaluate and examine the effects of these projects. However, the lack of necessary equipment to measure and recording changes in watersheds has made the use of hydrological distributed models to simulate watershed behavior before and after watershed management activities an effective tool in achieving these goals. Today, use the capabilities of hydrological models in simulating the effectiveness of management activities plays a decisive role in the decision-making process. Therefore, this study was conducted using the HEC-HMS model to evaluate the effects of implemented watershed management activities on peak flow, time to peak, and flood volume in the Ab-Mahi and Chikan-Morzyan watersheds. To determine the impact of structural and biological measures, concentration time, channel slope, and curve number were calculated before and after activities were implementation.

Materials and Methods

In this study, the effects of structural measures (gabion check dams, stone and cement structures, dry-stone terraces) and biological (almond cultivation, fencing, and control sample) watershed management measures on hydrological indicators (time to peak, peak discharge, and flood volume) in two watersheds: Ab-Mahi and Chikan-Morzyan, within the Doroodzan Dam watershed. Then, rainfall and runoff simulations were performed using the HEC HMS model in two scenarios with and without watershed management measures. In the scenario without watershed management measures, the necessary data were obtained from detailed operational surveys collected by the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author's E-mail: ebrahimomidvar@gmail.com

Citation: Ghahremani, R., Omidvar, E., Dokhani, S. 2025. Assessment of the Impact of Watershed Management Measures on Flood Characteristics in the Ab-Mahi and Chikan-Morzyan Watersheds, Fars Province. Watershed Management Research. 38(3): 120-137.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.368121.1609

Received: 02 January 2025, **Received in revised form:** 18 April 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No.3, Ser. No: 148, Autumn 2025, pp. 120-137.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



In the scenario with watershed management measures, the hydrological effects of structural measures were evaluated by their impact on watershed slope and concentration time, while the effects of biological measures were assessed through changes in the weighted mean Curve Number (CN) of sub-watersheds before and after implementation. Then, the physical indicators of the watershed (watershed area, weighted mean curve number (CN), initial losses, and delay time) were calculated. In order to convert rainfall into runoff, the SCS method was applied for both scenarios before and after the implementation of watershed management measures. The CN map was prepared based on the integration of soil hydrological and land use group data in the ARC GIS 10.8 software. Also, the concentration time was calculated using the Kirpich method.

Results and Discussion

The results of evaluating the impact of watershed management measures in the studied watershed reveal various aspects of their effects on the hydrological behavior of the watershed. The results of this study showed that the implementation of structural watershed management measures caused a significant change in the amount of delay time in conditions before and after the implementation of the operation. So that the largest change in delay time was related to sub-watershed F (28.32 min) and the smallest change was related to sub-watershed 9 (4 min). This amount of change was due to slope, main channel length, soil permeability, and watershed area, etc. The amount of the change in peak time before and after the implementation of practices in sub-watersheds 11, 9, and F were 10, 10, and 60 min, respectively. The largest number of structures was in these sub-watersheds, and the results showed the effects of implementing the structures. Moreover, the greatest and smallest changes in streamflow before and after the watershed management interventions corresponded to sub-watersheds F (27.7 m³/s) and 9 (3.5 m³/s), respectively. The implementation of structural measures had no significant effect on runoff volume. In this study, the assessment of biological watershed management measures demonstrated that these measures reduced the Curve Number (CN). The reduction in CN before and after the interventions in sub-watersheds 11, 9, and F was 10, 5, and 5, respectively. This reduction led to a decrease in peak discharge from 79.7, 5.4, and 197.5 m³/s to 75.8, 3.5, and 147.7 m³/s, respectively. Furthermore, the application of biological measures resulted in a considerable reduction in runoff volume. However, they had no impact on time to peak. Overall, the effects of biological interventions on reducing runoff volume were greater than those of structural measures.

Conclusions and Suggestions

In this study, the effects of watershed management measures on flood characteristics (peak discharge, outflow runoff amount, and time to peak) were evaluated, and waterway structures and biological measures were examined. The results indicated that watershed management structures were effective in reducing flood peak discharge and increasing the time to peak. However, their effect on the total runoff volume was not statistically significant. Furthermore, the assessment of biological practices demonstrated a significant impact on reducing both runoff volume and peak discharge, while no considerable effect was observed on the time to peak. These findings highlight the importance of integrating structural and biological measures within integrated watershed management. Combining these two approaches increased the effectiveness of measures taken in flood control, soil conservation, and water resource management. Therefore, it is suggested that similar projects be carried out in other regions with similar climatic and hydrological conditions so that the results obtained can be used in decision-making and improving watershed management.

Keywords: Ab-Mahi and Chikan-Morzian watersheds, biological practices, HEC-HMS model, peak discharge, Runoff

Article Type: Research Article**Acknowledgement**

The authors gratefully acknowledge the cooperation of the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province, who supported the authors of this article in various stages of the present research (providing data and arranging transportation for field visits).

Conflicts of interest

Conflicts of interest the authors of this article declare that there are 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 in the text of the article.

Authors' Contribution

Author 1: Field visits, data collection and preparation, software/statistical analyses, manuscript writing, and results verification

Author 2: Guidance, conceptualization, field visits, reviewing and finalizing the manuscript, and results analysis

Author 3: Proposing the topic, conceptualization, supervision, and review of results

دیدگاه روستاییان پیرامون اثرات طرح آبخیزداری چغل در شهرستان کهگیلویه

مصطفی احمدوند^۱، آیت‌اله کرمی^۲، مریم آفریدونی^۳

۱- استاد ترویج و توسعه کشاورزی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲- استاد اقتصاد کشاورزی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۳- دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

در کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و تغییرات اقلیمی، استفاده مؤثر از منابع آب و خاک بسیار ضروری است. این موضوع اهمیت و لزوم اقدامات حفاظتی با روش‌های نوین را افزایش می‌دهد. به این دلیل، اجرای عملیات و طرح‌های آبخیزداری به‌عنوان یکی از روش‌های پذیرفته‌شده و مؤثر برای حفاظت از آب و خاک شناخته می‌شود و ارزیابی اثرات این طرح‌ها به‌عنوان معیاری مهم برای سنجش ارزش آن‌ها به‌شمار می‌آید. افزون بر این، اجرای این طرح‌ها پیامدهای مثبت و منفی را به‌همراه دارد که توجه نداشتن به آن‌ها، ارزیابی موفقیت این طرح‌ها در بهبود بهره‌وری آب و خاک را دشوار می‌سازد. ازاین‌رو، شناسایی اثرات طرح‌های آبخیزداری و تفکیک آن‌ها می‌تواند گام مؤثری در اصلاح روش‌ها، کاهش آثار منفی و توسعه این طرح‌ها باشد. همچنین، بررسی نقش این طرح‌ها در پیشرفت جامعه‌های روستایی نیازمند ارزیابی دقیق و کمی به‌منظور تجزیه و تحلیل اثرات آن‌ها از جنبه‌های اجتماعی، محیطی و اقتصادی است. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی دیدگاه روستاییان نسبت به اثرات طرح آبخیزداری چغل در شهرستان کهگیلویه انجام شد.

مواد و روش‌ها

محدوده این پژوهش، طرح آبخیزداری چغل در شهرستان کهگیلویه بود. در سال‌های گذشته، برای جلوگیری از فرسایش و بهبود پوشش گیاهی اقدامات پرشماری شامل بذرپاشی، بذرکاری و ساخت سازه‌های سنگی ملاتی و بندهای توری گابیونی در سطح آبخیز چغل انجام شده است. سازه‌های سنگی گابیونی (توری سنگی) با حجم عملیاتی ۹۰۰ مترمکعب و سازه‌های سنگی ملاتی با ۳۰۰۰ مترمکعب در آبخیز مطالعه‌شده اجرا شده است. در این پژوهش از رویکرد اکتشافی متوالی به‌عنوان راهبرد پژوهش استفاده شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات: Mahmadvand@yu.ac.ir

استناد: احمدوند، م.، کرمی، ا.، آفریدونی، م. ۱۴۰۴. دیدگاه روستاییان پیرامون اثرات طرح آبخیزداری چغل در شهرستان کهگیلویه. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۳): ۱۵۸-۱۳۸.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2025.368670.1617

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴ دوره ۳۸ شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۸، پاییز ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۳۸ تا ۱۵۸.

© نویسندگان

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



در مرحله نخست، با استفاده از مصاحبه نیمه ساختاریافته و نمونه‌گیری گلوله‌برفی با ۱۶ نفر از افراد سرشناس و آشنا با طرح آبخیزداری اجراشده در روستای منطقه مطالعه‌شده، اثرات احتمالی طرح در محدوده مطالعه‌شده شناسایی شد و تا رسیدن به اشباع داده‌ای ادامه یافت. بر اساس نتایج این مرحله، مؤلفه‌های اثر، شناسایی و فهرست شدند. آنگاه بر اساس مؤلفه‌های نام‌برده، پرسش‌نامه‌ای متشکل از دو بخش مشخصات فردی (بخش اول) و اثرات طرح آبخیزداری منطقه مطالعه‌شده (بخش دوم) طراحی شد. سپس، گویه‌های اثر بر اساس دامنه لیکرت پنج سطحی از به‌شدت کاهش یافته (۲-) تا به‌شدت افزایش‌یافته (۲+) طراحی شدند. سپس، با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، ۱۰۰ نفر از روستائیان منطقه مطالعه‌شده به‌عنوان نمونه آماری انتخاب و مصاحبه شدند. در بخش تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه از آماره‌های توصیفی (فراوانی، میانگین، ضریب تغییرات) و آزمون‌های آمار استنباطی (تحلیل عاملی اکتشافی و مقایسه میانگین) استفاده شد.

نتایج و بحث

در بخش کیفی پژوهش، مؤلفه‌های احتمالی اثرات طرح آبخیزداری در آبخیز چغل، شناسایی و تحلیل شدند. این مؤلفه‌ها ۴۱ مفهوم به‌دست‌آمده از مصاحبه‌ها بودند. تجزیه و تحلیل داده‌ها در بخش کمی نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS22 و به‌منظور دسته‌بندی مفاهیم به‌دست‌آمده انجام شد. همچنین، از تحلیل عاملی اکتشافی برای تحلیل داده‌ها در شناسایی اثرات طرح آبخیزداری و تبیین پراکنش تمام اثرات بیشترین سهم مربوط به دسته اول (۲۴/۱۷۳٪) و کمترین سهم مربوط به دسته هشتم (۴/۵۵۸٪) بود که در مجموع ۷۳/۵۴٪ از پراکنش کل تبیین شد. افزون بر این، یافته‌ها بیانگر اثرات مثبت و معنادار اجرای این طرح در حیطه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی بود. این اثرات از دیدگاه اقتصادی، افزایش بهره‌وری و بهبود الگوی کشت، از دیدگاه اجتماعی، افزایش مشارکت و تقویت حس مکان و از دیدگاه محیط‌زیستی، کاهش خسارت‌های سیلاب و رونق گردشگری بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش بیانگر اثرات مثبت طرح آبخیز چغل در حیطه‌های گوناگون اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی بود. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های کمی نیز بیانگر آن بود که اجرای طرح آبخیزداری بر بهبود شرایط محیطی، زیرساخت‌ها، فعالیت‌های اجتماعی و به‌طور کلی، احساس وفاداری و وابستگی نسبت به محیط‌زیست و اجتماع، مثبت بوده است. از دیدگاه اقتصادی، افزایش معنادار بهره‌وری و بهبود الگوی کشت نیز مشاهده شد. پیشنهاد می‌شود از یافته‌های این پژوهش، برای تقویت و کارآمدی بیشتر طرح‌های آبخیز چغل در شهرستان کهگیلویه و دستیابی به پایداری جامعه‌های پیرامون اینگونه طرح‌ها بهره‌گیری شود. در این راستا، می‌توان توسعه برنامه‌های آموزشی و ترویجی، تقویت مشارکت محلی در مدیریت آبخیز، توسعه زیرساخت‌های گردشگری، شناسایی و حمایت از کشت و توسعه گیاهان دارویی و محصولات با ارزش افزوده و سرانجام، ایجاد همکاری میان سازمان‌های دولتی، غیردولتی و نهادهای محلی برای اجرای مؤثرتر طرح‌های آبخیزداری و ارتقاء بخشیدن به بهره‌وری و پایداری منابع طبیعی را پیشنهاد داد.

واژگان کلیدی

آبخیز چغل، آبخیزنشینان، اثرسنجی اجتماعی-اقتصادی، مهار سیلاب

مقدمه

در سراسر جهان به دلیل تغییرات آب و هوایی، رشد جمعیت، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب شیرین و نبودن مدیریت صحیح منابع آبی، به یافتن راه‌حل‌های بهتر برای مدیریت آب نیاز، شدیدی است (آسیف و همکاران ۲۰۲۳). تغییرات اقلیمی مانند کاهش بارندگی و افزایش دما، تبخیر و تعرق و افزایش نیاز آبی در سراسر جهان عامل تهدیدکننده مناطق کم آب است و سیاست‌های مدیریت منابع آبی را با چالش‌های جدی روبرو می‌کند و تا سال ۲۰۲۵ بیش از دو سوم جمعیت جهان در مناطقی تحت تنش شدید آب خواهند بود (پروسر و همکاران ۲۰۲۱). افزون بر این، فرسایش خاک نیز یکی از مهم‌ترین فرآیندهای ویرانی سرزمین است که ویرانی محیط‌زیست و خسارت مالی را به همراه دارد (پوسن ۲۰۱۸). در این میان، آبخیزهای مربوط به رودها، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک مانند ایران همواره محور سکونت جامعه‌های بشری بوده‌اند. این مناطق در گذر زمان در اثر عامل‌های محیطی و انسانی، دچار تغییرات می‌شوند که این ویرانی به شکل فرسایش و کاهش حاصل‌خیزی رخ می‌دهد. از جمله راهکارهای جلوگیری از پیامدهای نامبرده، اجرای طرح‌های آبخیزداری است که نقش برجسته‌ای در کاهش اندازه فرسایش خاک و رسوب تولیدی دارند (نراندرا و همکاران ۲۰۲۱). از سوی دیگر، هم‌اکنون جامعه روستایی در ایران با چالش‌های زیادی از جمله فقر، بیکاری و مهاجرت روبرو است. از این‌رو، توجه به توسعه روستایی یک ضرورت انکارناپذیر است. اجرای طرح‌های آبخیزداری افزون بر حفظ منابع آب، خاک و گیاه، می‌تواند برای مناطق روستایی فرصت‌های شغلی و درآمدی جدید ایجاد کند (صادقی و همکاران ۲۰۲۲). بر این اساس، طرح‌های آبخیزداری موجب حفظ منابع طبیعی و بهره‌برداری بهتر از منابع ملی هستند و با ارزیابی کمی آن‌ها می‌توان به دیدگاه روشنی در بازدهی چنین اقداماتی در آبخیزها دست یافت (شایف‌ری و همکاران ۲۰۲۰). در این راستا، یافته‌های پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۱۶) در چین، کانادا و اروپا بیانگر اثرات

طرح‌های آبخیزداری در زمینه محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی بود که از دیدگاه اقتصادی این آثار مفید ارزیابی شد ولی از دیدگاه محیط‌زیستی و اجتماعی با چالش‌هایی روبرو بود. در پژوهشی، احمدوند و کرمی (۲۰۱۷) اثرات اجتماعی طرح پخش سیلاب در دشت گربایگان فسا را ارزیابی کردند و دریافتند دیدگاه کارشناسان نسبت به اثرات اجتماعی طرح مثبت‌تر بود. افزون بر این، اثرات این طرح بر سرمایه اجتماعی، کیفیت زندگی و شرایط اقتصادی روستائیان، مثبت و بر بهزیستی و ساختار اجتماعی منفی گزارش شد. این در حالی است که از دیدگاه مردم محلی، اثرات طرح نامبرده بر کیفیت زندگی و شرایط اقتصادی روستایی و کشاورزی، مثبت و بر رفاه، سرمایه و ساختار اجتماعی منفی بود. ردی و همکاران (۲۰۱۷) اثرات مدیریت آبخیزداری را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که طرح‌های آبخیزداری موجب افزایش پوشش گیاهی، کاهش رسوب، افزایش درآمد، کاهش فرسایش خاک و افزایش مشارکت شد. در پژوهشی لگاس و همکاران (۲۰۱۸) اثرات مدیریت آبخیزداری در جنوب اتیوپی را بررسی کردند و دریافتند که اجرای طرح موجب جلوگیری از ویرانی زمین‌ها و پوشش گیاهی، حفظ و احیای تنوع گیاهی و بهبود حاصل‌خیزی خاک، افزایش مشارکت افراد محلی و کاهش فقر و ایجاد معیشت پایدار شد. دارابی و همکاران (۲۰۱۸) عملکرد طرح‌های آبخیزداری بر اندازه فرسایش و حمل رسوب در آبخیز سد سیوند استان فارس را ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که عملیات آبخیزداری سبب کاهش میانگین رسوب‌دهی به اندازه ۳۹/۴۲٪ شد. منیوانان و همکاران (۲۰۲۱) آثار جامع طرح‌های توسعه آبخیزها را ارزیابی کردند و دریافتند که چنین طرح‌هایی از دیدگاه اقتصادی بسیار مناسب بوده و موجب کاهش رواناب و کاهش تلفات خاک به ترتیب از ۴ تا ۱۸٪ و از ۴ تا ۵ میلی‌گرم در هکتار در سال شدند. در پژوهشی، باقریان‌کلات و لشکری‌پور (۲۰۲۰) اثرات اقدامات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و اندازه فرسایش و رسوب در آبخیز کاخک را ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که با اجرای طرح آبخیزداری،

میانگین تاج پوشش گیاهی از ۲۵ به ۴۹٪ و میانگین علوفه خشک قابل بهره‌برداری از ۱۷ به ۸۹ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. کرمی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که از بارزترین اثرات طرح آبخیزداری از دیدگاه محیط‌زیستی، ایجاد چشم‌انداز زیبا و بهبود زیرساخت، مهار فرسایش و افزایش سطح مراتع، بهره‌برداری از نزولات آسمانی و مهار سیلاب بود. همچنین، از دیدگاه اقتصادی، افزایش اندازه تولید، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش مالکیت، درآمدزایی و از دیدگاه اجتماعی، مشارکت و همکاری، افزایش آگاهی، پیگیری نهادی و تبادل فرهنگی بود. در نطنز، نتایج پژوهش داوودی و همکاران (۲۰۲۱) بیانگر آن بود که آثار اجرای طرح آبخیزداری از دیدگاه اقتصادی منفی بود و بر مؤلفه‌های اجتماعی (مهاجرت، مشارکت مردم و رضامندی اجتماعی) و مؤلفه‌های محیطی (سطح زیرکشت، سطح سفره‌های آب زیرزمینی و پوشش گیاهی) مثبت بود. صادقی و همکاران (۲۰۲۵) ویژگی‌های آبخیزداری مطلوب در آبخیز دفت‌آباد خراسان جنوبی را بررسی کردند و دریافتند که رویکردهای کنونی مدیریت آبخیز دفت‌آباد با چالش‌های جدی مواجه است. همچنین، گزارش کردند که بهره‌گیری از توانمندی‌های اقتصادی آبخیزها در راستای تولید محصولات، بازاریابی محصولات تولیدشده و گسترش بوم‌گردی، سبب کاهش فقر عمومی و تقویت اقتصادی جامعه‌های محلی خواهد شد. پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده در راستای بررسی اثرات طرح‌های آبخیزداری از سه دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی بیانگر آثار گسترده و گوناگون این طرح‌ها (مانند افزایش بهره‌وری کشاورزی، بهبود کیفیت زندگی، کاهش مهاجرت و جلوگیری از فرسایش خاک) است. ویژگی و نکته تمایز این پژوهش در مقایسه با دیگر پژوهش‌ها آن بود که متغیرها برآمده از مصاحبه با جامعه‌های محلی بودند. به بیان دیگر متغیرهایی که در این پژوهش بررسی شدند به‌طور ملموس بر زندگی مردم اثرگذار بودند و این نکته به پژوهش جنبه واقع‌گرایانه بخشید. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین برای حفاظت از

منابع آب و خاک بر حسب شرایط هر منطقه مدیریت‌های گوناگونی به‌کاربرده شده است. یکی از این مدیریت‌ها در زمین‌های آبخیز چغل در بخش مرکزی شهرستان کهگیلویه، ایجاد سازه‌های سنگی گابیونی (توری سنگی) با حجم عملیاتی ۹۰۰ متر مکعب و سازه‌های سنگی ملاتی با ۳۰۰۰ مترمکعب بود که در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ اجرا شد. یکی از اهداف سازه‌ای اجرای این طرح، جلوگیری از انتقال رسوبات به سد آبگیر مارون، کاهش سرعت سیل و مهار رواناب‌های منجر به سیل، استفاده روستاهای مجاور از ذخیره آب پشت بندها و جلوگیری از فرسایش بیشتر زمین‌های پیرامون سازه‌ها بود. از این‌رو، هدف این پژوهش بر اساس بهره‌برداری‌های روستاییان منطقه ارزیابی آثار این طرح‌ها بر زندگی روستاییان منطقه بود. از این‌رو، با توجه به اهمیت موضوع و نیاز به آگاهی از موفقیت این طرح‌ها، این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات طرح آبخیزداری با تأکید بر جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی از دیدگاه روستاییان آبخیز چغل در شهرستان کهگیلویه انجام شد. با شناسایی این اثرات می‌توان این‌گونه طرح‌ها را در آینده بهتر و مناسب‌تر اجرا کرد.

مواد و روش‌ها

معرفی طرح و منطقه مطالعه‌شده

در این پژوهش، منطقه پژوهشی محدوده آبخیز چغل در شهرستان کهگیلویه با مساحت ۵۹۴۰ هکتار در شمال و شمال‌غرب شهرستان کهگیلویه از توابع استان کهگیلویه و بویراحمد بود که از سرشاخه‌های سد مارون به‌شمار می‌آید. مختصات این آبخیز از شمال به بلندی‌های کوه پات و آبخیزهای عمارت، برم آفتاب، تراب و از جنوب به بلندی‌های مشرف به دشت کلاچو، از غرب به رود مارون و از شرق به بلندی‌های کوه سیاه محدود می‌شود. مناطق مسکونی و مزروعی این آبخیز شامل دوریزگان، کوشک و چغل است. بیشتر روستاییان در این منطقه از دیدگاه معیشتی کشاورز، دامدار و کارگر بوده و گروه زیادی نیز در شهر شاغل هستند. ۶۲/۶٪ از مساحت آبخیز مربوط به مراتع

ضعیف و متوسط است و گونه غالب پوشش گیاهی در آنها، استراگالوس، استپی و نیمه استپی و بروموس است. مساحت زمین‌های کشاورزی منطقه ۶۰۰ هکتار و زیر کشت گندم، جو و عدس است. مساحت باغ مرکبات نیز هفت هکتار است. کمترین و بیشترین بارندگی سالانه در این آبخیز به ترتیب ۶۵۰/۴۱ و ۸۲۲/۲۵ میلی‌متر است. در سال‌های گذشته، به منظور جلوگیری از ویرانی زمین و بهبود پوشش گیاهی اقدامات پرشماری شامل بذرپاشی، بذرکاری و ساخت سازه‌های سنگی ملاتی و بندهای توری گابیونی در سطح آبخیز چغل انجام شده است. زمان اجرای عملیات سازه‌ای و بهره‌برداری سازه‌ها از سال ۱۳۹۸ است. از جمله اهداف اجرای طرح‌های سازه‌ای آبخیز چغل جلوگیری از انتقال رسوبات به آبگیر سد مارون، کاهش سرعت سیل و مهار رواناب‌های منجر به سیل، استفاده روستاهای مجاور از ذخیره آب پشت بندها، جلوگیری از فرسایش بیشتر زمین همجوار و جنبه‌های تفرجگاهی ایجاد شده در پیرامون سازه‌ها است.

در این پژوهش از رویکرد اکتشافی پیوسته به عنوان راهبرد پژوهش استفاده شد. این رویکرد تلفیقی (کیفی-کمی) به‌شمار می‌آید. به بیان دیگر، در مرحله نخست از رویکرد کیفی و در مرحله دوم از رویکرد کمی تبعیت می‌کند. جامعه آماری در این پژوهش، شامل جامعه آماری بخش کیفی و کمی یعنی افراد ساکن در روستاهای (دوریزگان، کوشک و چغل) آبخیز چغل بود. تصویرهایی از طرح آبخیزداری مطالعه شده روستاهای بررسی شده آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در مرحله نخست پژوهش، با استفاده از مصاحبه نیمه ساختاریافته و مشاهده مشارکتی با ۱۶ نفر از افراد سرشناس و آشنا با طرح آبخیزداری در روستاهای آبخیز مطالعه شده، اثرات (مؤلفه‌های) احتمالی طرح در محدوده مطالعه شده شناسایی شدند. همچنین، برای انتخاب افراد مصاحبه‌شونده از روش نمونه‌گیری گلوله برفی که یک روش بدون احتمال و هدفمند بود، استفاده شد و تا رسیدن به اشباع داده‌ای ادامه یافت. اشباع داده‌ای زمانی رخ داد که دیگر مفهوم جدیدی استخراج نشد و پاسخ‌ها و محتواها

کاملاً تکراری شدند. در هنگام مصاحبه از یادداشت‌برداری برای گردآوری داده‌ها استفاده شد و به منظور افزایش قابلیت اعتماد و روایی داده‌ها و همچنین پرهیز از اشتباه در درک مطالب بیان شده از سوی مصاحبه‌شوندگان، داده‌ها برای آنان تکرار می‌شد تا از روایی و برداشت درست آن اطمینان به دست آید. سپس، با استفاده از تحلیل محتوا مفاهیم درون مصاحبه‌ها و اسناد و مدارک بر اساس ارتباط با موضوعات مشابه استخراج شدند و در بررسی آنها، مفاهیم تکراری حذف شدند. با این روش مؤلفه‌های مرتبط با اثرات طرح آبخیزداری استخراج شد. سپس، برای پرهیز از سوگیری و استنباط‌های ذهنی فردی، مؤلفه‌ها و گویه‌های استخراج شده در اختیار متخصصان (صاحب‌نظران) قرار گرفت. این کار به صحت و دقت نتایج کمک کرد. در بخش کمی پژوهش تعداد جامعه آماری بر اساس مستندات مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ برابر با ۳۷۵ خانوار و ۱۲۲۶ نفر تعیین شد. سرپرستان خانوار به عنوان واحد تحلیل در نظر گرفته شدند که با استفاده از جدول نمونه‌گیری بارتلت و همکاران (۲۰۰۲)، ($t=1/96$ و $\alpha=0/05$)، با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، ۹۲ نفر به عنوان نمونه آماری برآورد شدند. شایان ذکر است که برای کاهش اشتباه نمونه‌گیری یعنی تفاوت میان اندازه سنج در جمعیت و اندازه آماره در نمونه، افزایش تعمیم‌پذیری و دستیابی به برآوردی دقیق‌تر، به حجم نمونه افزوده شد و در مجموع ۱۰۰ نفر به طور تصادفی انتخاب و مصاحبه شدند. ابزار گردآوری داده‌ها در این مرحله پرسش‌نامه بود. بعد از استخراج و شناسایی مؤلفه‌های احتمالی اثر، پرسش‌نامه‌ای بر پایه آنها طراحی شد. این پرسش‌نامه متشکل از بخش اول مشخصات فردی و بخش دوم اثرات طرح آبخیزداری منطقه مطالعه شده براساس دامنه لیکرت پنج سطحی از به شدت کاهش یافته (۲-) تا به شدت افزایش یافته (۲+) تدوین شده بود. برای تعیین روایی صوری و محتوایی پرسش‌نامه چند نسخه از آن در اختیار گروهی از اساتید و متخصصان موضوعی قرار داده شد و برحسب پیشنهاد‌های آنان اصلاحات لازم انجام شد. در بخش

تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه از آماره‌های توصیفی (فراوانی، میانگین، ضریب تغییرات) و آماره‌های استنباطی (تحلیل عاملی اکتشافی و مقایسه میانگین) استفاده شد. شایان ذکر است، اهمیت بهره‌گیری از تحلیل عاملی اکتشافی در

ارزیابی شواهد تجربی و ایجاد طبقه‌بندی‌های گوناگون، برای توانایی‌های ذهنی، شخصیت و دیگر آبخیزها، خیلی زیاد است (ویدامن و هلم ۲۰۲۳).



شکل ۱- روستاهای تحت طرح آبخیزداری.

Figure 2- Villages under the watershed management plan.

نتایج و بحث

نتایج بخش کیفی پژوهش

در پژوهش‌های ترکیبی، پژوهش‌گر ابتدا موضوع پژوهش را با مشارکت‌کنندگان محدود بررسی می‌کند. سپس، بر مبنای یافته‌ها، ابزار مد نظر را تهیه می‌کند. بر این اساس، و به‌منظور بررسی و شناخت بیشتر موضوع افزون بر استفاده از پژوهش کتابخانه‌ای و

مبانی نظری، از مصاحبه عمیق نیمه ساختاریافته برای درک بیشتر اثرات طرح استفاده شد. در این پژوهش پس از اتمام مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با خبرگان محلی، مصاحبه‌ها بازبینی و بررسی شدند و سرانجام مؤلفه‌ها و یا اثرات احتمالی طرح از ۱۶ مصاحبه انجام شده استخراج شدند (جدول ۱).

جدول ۱- مؤلفه‌های استخراج‌شده از مصاحبه‌ها.

Table 1- Components extracted from the interviews.

Components and concepts of perception	
Increasing agricultural land prices	Increasing knowledge and awareness about the project
Increasing the area of agricultural land	Increasing skills in diverse agricultural occupations
Increasing the area of gardens	New experience in cultivating and utilizing new crops
Increasing the yield of irrigated crops	The presence of people in the village for recreation
Increasing the yield of rainfed crops	Beautiful scenery and landscapes
Increasing income from agriculture	Officials' attention to a specific village
Poverty reduction as a result of job diversification and increased product yields	Collective and ethnic conflicts as a result of unfair distribution of water resources
Preventing flood damage to agricultural lands and village gardens	Public participation in the implementation and success of projects
Controlling and preventing flood damage to communication routes	Satisfaction with the implemented watershed management project
Controlling and preventing flood damage to homes	Using people's opinions and introducing them to watershed management plans
Reducing soil erosion downstream	Increasing interactions between rural people and relevant institutions
Recharging groundwater aquifers	Interaction and communication with neighboring villages
Reducing water pollution	A greater sense of belonging to the place where you live
Solving problems related to water shortages in the region	Reducing the tendency to migrate from villages
The booming of the mineral springs downstream	The village's reputation in the city
Increasing the number of agricultural wells	Converting land into a garden
Improving roads and communication routes	Cultivation of medicinal plants in the region
Easy access to vehicles	Increasing fodder for livestock in pastures
Increasing the level of greenery in the pastures around the project	Reduction of wasteland
Improving the vegetation cover of the region	Developing job opportunities (summer crop cultivation, beekeeping)

نتایج بخش کمی پژوهش

یافته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل توصیفی با میانگین سنی ۴۸ و انحراف معیار ۱۳/۱۱ نشان‌دهنده آن بود که اکثریت نمونه پژوهش در گروه سنی میان‌سال بودند. همچنین، از مجموع ۱۰۰ نفر مشارکت‌کننده، ۸۳ نفر از مردان و ۱۷ نفر دیگر از زنان بودند. نتایج نشان داد که از دیدگاه اندازه تحصیلات، ۵۱ نفر زیر دیپلم، ۱۵ نفر دیپلم، ۲۸ نفر با مدرک کارشناسی و شش نفر با مدرک کارشناسی ارشد و بالاتر بودند. بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین خانوار در پاسخگویان چهار با انحراف معیار ۱/۶۹ به‌دست آمد. همچنین، ۳۲ نفر از پاسخگویان کشاورز، ۱۵ نفر دامدار و ۵۳ نفر افزون بر دامداری و کشاورزی به دیگر فعالیت‌ها نیز مشغول بودند. میانگین سالانه درآمد بهره‌برداران ۱,۹۶۹,۷۶۰ هزارریال بود. افزون بر این،

در بخش کمی پژوهش، در راستای شناسایی اثرات طرح آبخیزداری در منطقه مطالعه‌شده از روش تحلیل عاملی استفاده شد. هدف از کاربرد تحلیل عاملی اکتشافی دسته‌بندی و کاهش پیچیدگی داده‌ها و دستیابی به تعداد کمتر داده اما معنادار از دیدگاه‌ها یا عامل‌های گوناگون است که بتوان متغیرهای اولیه را توضیح داد. در تحلیل عاملی اکتشافی، ابتدا مؤلفه‌های کفایت نمونه‌برداری و ضریب بارتلت برای داده‌ها محاسبه شد و پس از اطمینان از توانایی انجام تحلیل عاملی اکتشافی، فرایند انجام تحلیل آغاز شد. بر پایه جدول ۲، اندازه KMO برابر ۰/۸۶۳ و آماره بارتلت برای شناسایی اثرات طرح از دیدگاه بهره‌برداران در منطقه مطالعه‌شده نیز برابر با ۲۷۰۲/۹۶۶ به‌دست آمد که در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود و بیانگر کفایت نمونه‌گیری برای تحلیل عاملی اکتشافی بود.

جدول ۲- اندازه KMO و آزمون بارتلت.

Table 2-KMO value and Bartlett test.

Analysis set	Amount	Bartlett's Amount	Degree	Level
Impacts of the watershed management plan	0.863	2702.966	595	0.0001

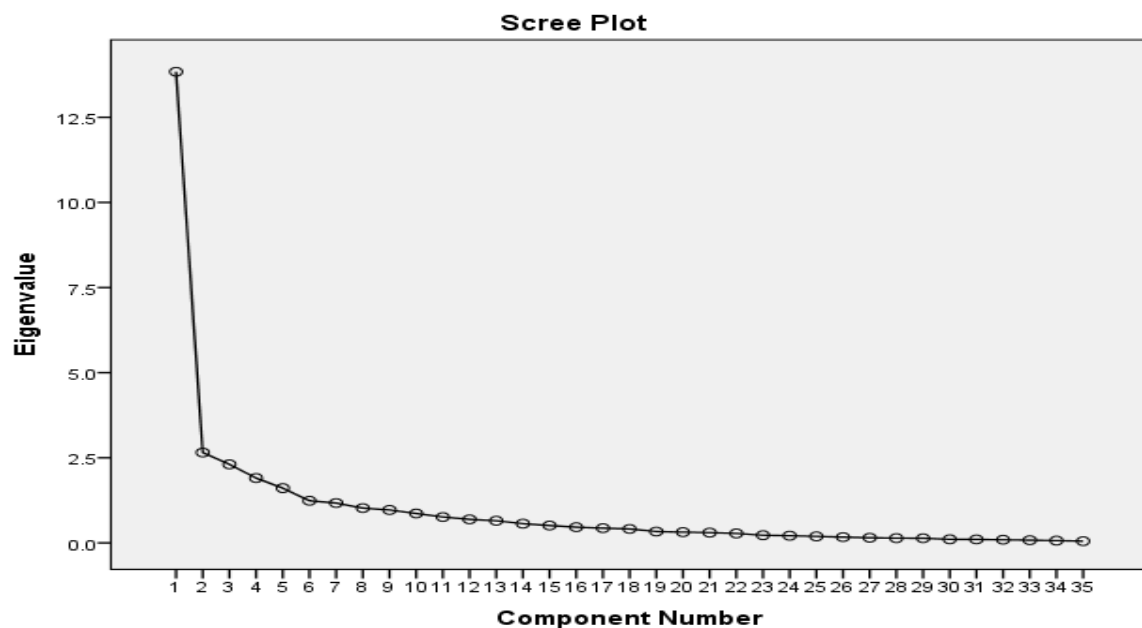
مربوط به اندازه‌های ویژه هر یک از دسته‌های اثر بزرگ‌تر از یک بود و در مجموع ۷۳/۵۴٪ از پراکنش کل آزمون تبیین شد. بر اساس این یافته‌ها، می‌توان گفت که تحلیل مؤلفه‌های اصلی قابل توجیه و مؤلفه‌های استخراج‌شده قابل اطمینان بودند که در این پژوهش برای تسهیل در تفسیر عامل‌ها از چرخش عاملی از نوع واریماکس استفاده شد. عامل‌های (دسته اثرات) استخراج‌شده همراه با اندازه‌های ویژه و درصد پراکنش بعد از چرخش در جدول ۳ نشان‌داده شده است. سپس، با توجه به اندازه همبستگی هر یک از دسته مؤلفه‌های اثر، اسامی یا عنوان‌های مناسبی برای هر یک از آن‌ها انتخاب شد. با توجه به نتایج، همه عامل‌های (دسته‌های) شناسایی‌شده، همبستگی

مربوط به اندازه‌های ویژه هر یک از دسته‌های اثر بزرگ‌تر از یک بود و در مجموع ۷۳/۵۴٪ از پراکنش کل آزمون تبیین شد. بر اساس این یافته‌ها، می‌توان گفت که تحلیل مؤلفه‌های اصلی قابل توجیه و مؤلفه‌های استخراج‌شده قابل اطمینان بودند که در این پژوهش برای تسهیل در تفسیر عامل‌ها از چرخش عاملی از نوع واریماکس استفاده شد. عامل‌های (دسته اثرات) استخراج‌شده همراه با اندازه‌های ویژه و درصد پراکنش بعد از چرخش در جدول ۳ نشان‌داده شده است. سپس، با توجه به اندازه همبستگی هر یک از دسته مؤلفه‌های اثر، اسامی یا عنوان‌های مناسبی برای هر یک از آن‌ها انتخاب شد. با توجه به نتایج، همه عامل‌های (دسته‌های) شناسایی‌شده، همبستگی

جدول ۳- بارهای عاملی اصلی و اندازه پراکنش توضیح داده‌شده برای هر عامل.

Table 3- Principal factor loadings and amount of variance explained for each factor.

Row	Agent name (Impact)	Special amount	Specific variance percentage	Cumulative variance percentage
1	Economics and productivity of the cultivation pattern	8.461	24.173	24.173
2	Social participation and interaction	4.172	11.927	36.095
3	Environmental damage	3.396	9.702	45.796
4	Sense of place	2.319	6.626	52.422
5	Health of water resources	1.993	5.695	58.117
6	Tourism and nature tourism	1.992	5.694	63.811
7	Infrastructure and resources	1.812	5.176	68.987
8	Development inequality	1.595	4.558	73.545



شکل ۳- نمودار صخره‌ای اندازه‌های ویژه برای تعیین اثرات طرح آبخیزداری.

Figure 3- Rock chart of eigenvalues for determining the effects of a watershed management plan.

دسته پنجم ۱/۹۹۳ بود و این دسته اثر «سلامت منابع آب» نامیده شد و در مجموع ۵/۶۹۵٪ از تبیین پراکنش کل را کسب کرد. دسته ششم بر اساس جدول ۴، اثر «گردشگری و طبیعت‌گردی» نام‌گذاری شد و ۵/۶۹۴٪ از تبیین پراکنش کل مربوط به این اثر بود. دسته هفتم اثرات شامل، خروشان شدن چشمه‌های پایین‌دست، تعداد چاه‌های کشاورزی، دسترسی راحت به وسایل نقلیه در منطقه، جاده‌ها و راه‌های ارتباطی منطقه بود که اثر «زیرساختی و منابع» نام‌گذاری شد و در مجموع ۵/۱۷۶٪ از تبیین پراکنش کل را کسب کرد. سرانجام دسته هشتم اثرات، اثر «نابرابری توسعه» نام‌گذاری شد که کمترین سهم از تبیین پراکنش کل (۱/۵۹۵٪) مربوط به این دسته بود.

بر اساس نتایج چرخش واریماکس و با توجه به ماهیت متغیرهای تأثیرگذار، دسته نخست اثرات با عنوان اثر «اقتصاد و بهره‌وری کشت»، نام‌گذاری شد که اندازه ویژه این اثر ۸/۴۶۱ بود و در مجموع ۲۴/۱۷۳٪ از تبیین پراکنش کل مربوط به این دسته بود. اندازه ویژه دسته دوم ۴/۱۷۲ بود و در مجموع ۱۱/۹۲۷٪ از تبیین پراکنش کل مربوط به این دسته بود و اثر «مشارکت و تعامل اجتماعی» نامیده شد. دسته سوم اثر «خسران محیطی» نام‌گذاری شد که در مجموع ۹/۷۰۲٪ از تبیین پراکنش کل مربوط به این دسته بود. اندازه ویژه گویه‌های اثر شهرت روستا در شهرستان و حس تعلق به مکان در میان افراد منطقه ۲/۳۱۹ بود و ۶/۶۲۶٪ از تبیین پراکنش کل را کسب کرد و این اثر «حس مکان» نام‌گذاری شد. اندازه ویژه

جدول ۴- متغیرهای مربوط به هریک از عامل‌ها و اندازه بارهای عاملی.

Table 4- Variables related to each factor and the amount of factor loadings.

Agent name	Variable	Factorial load
Economics and productivity of cultivation	Land conversion to orchards in the region	0.68
	Cultivation of medicinal plants in the region	0.73
	Fodder for livestock in pastures	0.72
	Converting low-yielding and barren rainfed lands into hand-cultivated pastures	0.68
	Job opportunities (summer crop cultivation, beekeeping)	0.72
	The price of agricultural land in the region	0.64
	Area of agricultural land in the region	0.73
	Area of orchards in the region	0.70
	Rainfed crop yield	0.80
	Irrigated crop yield	0.77
	Vegetation of the area	0.74
Social participation and interaction	Public participation in the implementation and success of projects	0.73
	Satisfaction with the implemented watershed management project	0.82
	Asking people for their opinions on regional development	0.71
	Interactions between rural people and relevant institutions	0.77
	Interaction and communication with neighboring villages	0.67
Environmental damage	Flood damage to agricultural lands and village gardens	0.68
	Flood damage to village communication routes	0.79
	Flood damage to homes	0.76
	Soil erosion downstream	0.59
Sense of place	The village's reputation in the city	0.68
	Sense of belonging to a place	0.73
Health of water resources	Groundwater status	0.79
	Water pollution in the region	0.85
Tourism and nature tourism	The presence of people in the village for recreation	0.87
	Beautiful landscapes and scenery in the area	0.76
Infrastructure and resources	The roaring of the springs downstream	0.72
	Number of agricultural wells	0.84
	Easy access to vehicles in the area	0.61
	Roads and communication routes in the region	0.62
Development inequality	Bias towards some villages	0.94
	Collective and ethnic conflicts as a result of unfair distribution of water resources	0.64

کشت، ۰/۸۰ به‌دست آمد. از این‌رو، می‌توان گفت طرح‌های آبخیزداری معمولاً باعث بهبود کیفیت و پایداری منابع آبی، افزایش حاصلخیزی و افزایش ارزش اقتصادی زمین‌های کشاورزی می‌شوند. این بهبود در کیفیت زمین‌ها می‌تواند باعث افزایش تقاضا و در نتیجه افزایش قیمت زمین‌های کشاورزی منطقه شود.

در این پژوهش، مؤلفه‌های اثر در هر دسته، با محاسبه ضریب تغییرات (انحراف معیار تقسیم بر میانگین) رتبه‌بندی شد. بر پایه جدول ۵ مشاهده شد در دسته اثر «اقتصاد و بهره‌وری کشت»، مؤلفه قیمت زمین‌های کشاورزی منطقه (میانگین=۱/۰۹ و انحراف معیار=۰/۹۳) در رتبه اول و مؤلفه کشت گیاهان دارویی (میانگین=۰/۵۶ و انحراف معیار=۱/۰۰۸) در رتبه آخر بود و میانگین کل اثر اقتصاد و بهره‌وری

جدول ۵- رتبه‌بندی مؤلفه‌های اثرات اقتصاد و بهره‌وری کشت طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.

Table 5- Ranking of items on the economic and productivity impacts of the watershed management plan from the perspective of the users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
The price of agricultural land in the region	1.09	0.93	0.853	1
Vegetation of the area	1.03	0.75	0.728	2
Area of agricultural land in the region	0.94	0.90	0.957	3
Job opportunities (summer crop cultivation, beekeeping)	0.85	0.95	1.11	4
Fodder for livestock in pastures	0.84	0.94	1.11	5
Area of orchards in the region	0.78	0.87	1.11	6
Land conversion to orchards in the region	0.76	0.97	1.27	7
Converting low-yielding and barren rainfed lands into hand-cultivated pastures	0.74	0.99	1.33	8
Rainfed crop yield	0.62	0.90	1.46	9
Irrigated crop yield	0.60	0.87	1.45	10
Cultivation of medicinal plants in the region	0.56	1.008	1.8	11
Total Average	0.80	0.746	-	-

انحراف معیار= $1/0.4$ در رتبه آخر بود. افزون بر این، میانگین مشارکت و تعامل درون و برون روستایی بیشتر از حد میانگین بود. به نظر می‌رسد اجرای این گونه طرح‌ها اغلب نیاز به هماهنگی و همکاری نزدیک با نهادها و سازمان‌های دولتی، محلی و تخصصی دارد.

بر اساس نتایج جدول ۶ در دسته اثر مشارکت و تعامل اجتماعی، مؤلفه مشارکت و تعامل اجتماعی تعاملات مردم روستا با نهادهای مربوطه در رتبه اول (میانگین= $0/97$ و انحراف معیار= $0/98$) و مؤلفه تعامل و ارتباط با روستاهای مجاور (میانگین= $0/61$ و

جدول ۶- اولویت‌بندی مؤلفه‌های اثرات مشارکت و تعامل اجتماعی طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.

Table 6- Prioritization of social participation and interaction items in the watershed management plan from the perspective of users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
Interactions between rural people and relevant institutions	0.97	0.98	1.01	1
Satisfaction with the implemented watershed management project	0.92	0.95	1.03	2
Public participation in the implementation and success of projects	0.90	1.01	1.12	3
Asking people for their opinions on regional development	0.83	0.95	1.14	4
Interaction and communication with neighboring villages	0.61	1.04	1.70	5
Total average	0.84	0.781		

طرح‌های آبخیزداری به‌ویژه در زمینه مدیریت منابع آب، می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها به منازل داشته باشد. زیرا، این سدها، بندها و دیوارهای حفاظتی هستند که جریان آب را در زمان بارش‌های سنگین مهار می‌کنند.

نتایج به‌دست‌آمده از رتبه‌بندی دسته اثر خسران محیطی از دیدگاه بهره‌برداران در جدول ۷ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده «خسارت سیل به منازل» (میانگین= $1/0.2$ و انحراف معیار= $0/95$) مهم‌ترین اثر و بالاترین رتبه مربوط به فرسایش خاک در پایین‌دست (میانگین= $0/95$ و انحراف معیار= $0/96$) بود. به نظر می‌رسد که اجرای

جدول ۷- اولویت‌بندی مؤلفه‌های اثرات جلوگیری از خسران محیطی طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.

Table 7- Prioritization of items for preventing environmental losses in the watershed management plan from the perspective of users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
Flood damage to homes	1.02	0.95	0.931	1
Flood damage to village communication routes	0.97	0.95	0.979	2
Flood damage to agricultural lands and village gardens	0.97	0.79	0.814	3
Soil erosion downstream	0.95	0.96	1	4
Total average	0.97	0.741		

در جدول ۸، دسته اثر حس مکان آمده است. در این دسته مؤلفه شهرت روستا در شهر (میانگین=۰/۸۱ و انحراف معیار=۰/۹۶)، رتبه اول و مؤلفه حس تعلق به مکان در میان افراد منطقه (میانگین=۰/۶۹ و انحراف

معیار=۰/۹۲) در رتبه دوم بود. میانگین اثر حس مکان ۰/۷۵ بیشتر از حد میانگین بود. بیشتر بودن میانگین حس مکان ممکن است نشان‌دهنده تأثیر مثبت طرح‌های آبخیزداری بر ارتقاء کیفیت زندگی باشد.

جدول ۸- اولویت‌بندی مؤلفه‌های اثرات حس مکان طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.

Table 8- Prioritization of sense of place items of the watershed management plan from the perspective of users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
The village's reputation in the county	0.81	0.96	1.18	1
Sense of belonging to a place	0.69	0.92	1.33	2
Total average	0.75	0.845		

بر اساس نتایج جدول ۹، در دسته اثر سلامت منابع آب، مؤلفه آلودگی آب‌های منطقه (میانگین=۰/۷۴ و انحراف معیار=۰/۸۶) رتبه نخست را کسب کرد و مؤلفه وضعیت آب‌های زیرزمینی (میانگین=۰/۶۵ و انحراف معیار=۰/۸۵) رتبه دوم بود. میانگین این دسته اثر ۰/۶۹ بیشتر از حد میانگین بود.

جدول ۹- اولویت‌بندی مؤلفه‌های اثرات سلامت منابع آبی طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.

Table 9- Prioritization of water resources health items in the watershed management plan from the perspective of users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
Water pollution in the region	0.74	0.86	1.16	1
Groundwater status	0.65	0.85	1.30	2
Total average	0.69	0.758		

در جدول ۱۰ وضعیت گویه‌های دسته اثر گردشگری و طبیعت‌گردی نشان‌داده شده است. در این دسته اثر مؤلفه مناظر و چشم‌انداز آبی زیبا در منطقه (میانگین=۱/۰۴ و انحراف معیار=۰/۸۲) رتبه نخست را کسب کرد و مؤلفه حضور افراد در روستا به‌منظور تفریح (میانگین=۱/۰۲ و انحراف معیار=۰/۶۹) رتبه دوم بود. میانگین اثر بر گردشگری و طبیعت‌گردی

۱/۰۲ از ۲ بود و بیشترین رتبه را در میان مؤلفه‌های اثر بررسی‌شده را کسب کرد. بر اساس این نتایج می‌توان گفت که زیبایی و جذابیت طبیعی منطقه با بهبود منابع آبی و مدیریت صحیح زیست‌بوم تشدید می‌شود که در نتیجه جذب بیشتر گردشگران را به همراه دارد.

جدول ۱۰- اولویت‌بندی مؤلفه‌های اثرات گردشگری و طبیعت‌گردی طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.
Table 10- Prioritization of tourism and ecotourism items in the watershed management plan from the perspective of users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
Beautiful landscapes and scenery in the area	1.04	0.82	0.788	1
The presence of people in the village for recreation	1.02	0.69	0.676	2
Total average	1.02	0.681		

معیار= $1/0.04$) بیشترین رتبه را کسب کرد. از این رو، بهبود زیرساخت‌های جاده‌ای به دلیل اجرای طرح‌های آبخیزداری می‌تواند به دسترسی راحت‌تر به وسایل نقلیه منجر شود.

میانگین دسته اثر زیرساختی و منابع، $0/61$ از ۲ و بیشتر از حد میانگین بود. کمترین رتبه مربوط به مؤلفه اثر دسترسی راحت به وسایل نقلیه در منطقه (میانگین= $0/67$ و انحراف معیار= $0/96$) بود و مؤلفه تعداد چاه‌های کشاورزی (میانگین= $0/54$ و انحراف

جدول ۱۱- اولویت‌بندی مؤلفه‌های اثرات زیرساختی و منابع طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.
Table 11- Prioritization of infrastructure items and watershed management plan resources from the perspective of users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
Easy access to vehicles in the area	0.67	0.96	1.43	1
Roads and communication routes in the region	0.66	0.94	1.42	2
The roaring of the springs downstream	0.60	0.97	1.61	3
Number of agricultural wells	0.54	1.009	1.86	4
Total average	0.61	0.736		

افزون بر این، میانگین گوئی تبعیض، $0/09$ و کمتر از دیگر گوئی‌ها بود. طرح‌های آبخیزداری معمولاً بر اساس نیازهای حقیقی جامعه طراحی و اجرا می‌شوند. این موضوع می‌تواند به توزیع عادلانه‌تر آب و کاهش نگرانی‌های مرتبط با نزاع‌های قومی و اجتماعی کمک کند.

یافته‌های این پژوهش بیانگر آن بود که در دسته اثر نابرابری توسعه گوئی نزاع‌های دسته‌جمعی و قومی در نتیجه تقسیم ناعادلانه منابع آبی (میانگین= $0/16$ و انحراف معیار= $1/01$) بیشترین رتبه را کسب کرد و کمترین رتبه مربوط به گوئی سوگیری به سمت برخی روستاها (میانگین= $0/02$ و انحراف معیار= $0/89$) بود.

جدول ۱۲- اولویت‌بندی مؤلفه‌های اثرات نابرابری توسعه طرح آبخیزداری از دیدگاه بهره‌برداران.
Table 12- Prioritization of inequality items in watershed development plans from the perspective of users.

Items	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Rank
Collective and ethnic conflicts as a result of unfair distribution of water resources	0.16	1.01	6.31	1
Bias towards some villages	0.02	0.89	44.5	2
Total average	0.09	0.802		

در این پژوهش، به دلیل بهنجار بودن دسته اثرات هشتگانه، میانگین مؤلفه‌ها به وسیله آزمون تی تک نمونه‌ای بررسی شد. آزمون t تک نمونه‌ای هنگامی استفاده می‌شود که یک نمونه‌ای از جامعه وجود داشته باشد و میانگین آن با یک حالت معمول استاندارد و یا یک عدد قابل انتظار و مفروض مقایسه شود (کریمی ۲۰۱۶). بر این اساس در این پژوهش با توجه به دامنه استفاده شده در پرسش‌نامه که میان ۲- و ۲+ بود، عدد معیار صفر در نظر گرفته شد. به بیان دیگر اگر میانگین هر اثر در هر مؤلفه بیشتر از معیار صفر باشد اثر افزایشی و کمتر از صفر باشد اثر کاهش می‌باشد. شایان ذکر است که آماره t نباید میان ۱/۹۶- تا ۱/۹۶+ باشد. نتایج تجزیه و تحلیل آزمون t در جدول ۱۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، تفاوت مؤلفه‌های اثر مشارکت و تعامل اجتماعی و حس مکان در میان متغیرهای اجتماعی در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود (نمره معیار صفر بود). این یافته بیانگر آن بود که اثرات طرح آب‌بخیزداری بر مشارکت و تعامل اجتماعی، و حس مکان مثبت و معنی‌دار است.

این در حالی است که مؤلفه اثر نابرابری توسعه معنی‌دار نبود و آماره t آن میان ۱/۹۶- تا ۱/۹۶+ بود. این یافته بیانگر آن بود که طرح آب‌بخیزداری اثری بر نابرابری توسعه در منطقه نداشته است. از دیدگاه محیط‌زیستی، اثرات اجرای طرح آب‌بخیزداری مثبت و معنی‌دار بود. به گونه‌ای که این طرح سبب کاهش خسارت‌های سیل به راه‌ها و منازل مسکونی شد و گردشگری در منطقه مطالعه شده افزایش یافت. از دیدگاه اقتصادی اثرات اجرای طرح آب‌بخیزداری فقط بر مؤلفه بهره‌وری و الگوی کشت در سطح ۰/۰۰۰۱ معنی‌دار شد. به گونه‌ای که بهره‌وری بهبود یافت. همچنین، از تمام دیدگاه‌ها، به جز اثر نابرابری توسعه (با میانگین ۰/۰۹ که معنی‌داری آن با ضریب ۰/۲۶۵ رد شد) اثرات طرح مثبت بود. یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که اثرات طرح آب‌بخیزداری از تمام دیدگاه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در آب‌بخیز چغل شهرستان کهگیلویه مثبت و معنادار بوده است.

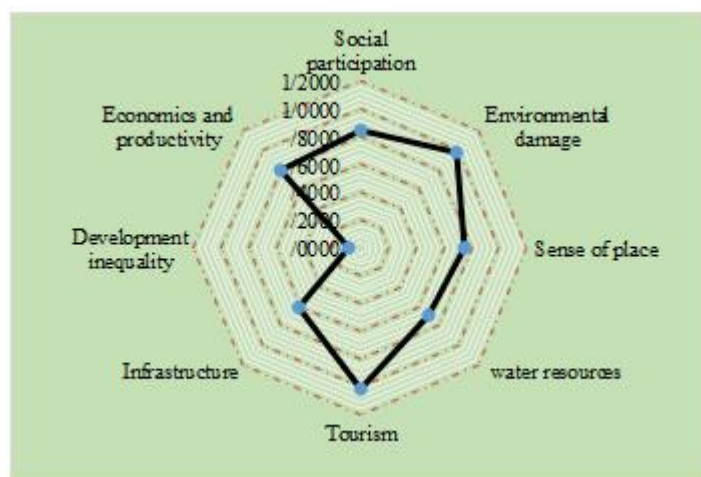
جدول ۱۳- نتایج ارزیابی اثرات طرح آب‌بخیزداری با استفاده از آزمون تی تک نمونه‌ای.

Table 13- Results of the assessment of the effects of the watershed by one-sample t-test

Class	Category	Degree of freedom	mean	t-statistic	Significance level	mean difference	95% confidence interval for the difference	
							Lower	Upper
Social	Social participation and interaction	99	0.846	9.702	0.0001	0.846	0.6730	1.0190
	Sense of place	99	0.750	8.872	0.0001	0.750	0.5823	0.9177
	Development inequality	99	0.090	1.122	0.265	0.090	-0.0692	0.2492
Environmental	Environmental damage	99	0.977	13.188	0.0001	0.830	0.8304	1.1246
	Health of water resources	99	0.695	9.164	0.0001	0.695	0.5445	0.8455
	Tourism and nature tourism	99	1.02	14.970	0.0001	1.02	0.8848	1.1552
Economic	Infrastructure and resources	99	0.617	8.386	0.0001	0.617	0.4714	0.7636
	Economics and productivity of cultivation	99	0.8009	10.722	0.0001	0.8009	0.6527	0.9491

۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴، می‌توان گفت بیشترین اثرات مثبت و معنی‌دار طرح آبخیزداری بر متغیر خسران محیطی و گردشگری بوده است.

نتایج آزمون t تک نمونه‌ای نشان داد تفاوت میان میانگین مؤلفه‌های اثر با نمره معیار، معنی‌دار بود. نمودار عنکبوتی مقایسه مؤلفه‌های ارزیابی اثرات طرح آبخیزداری چغل شهرستان کهگیلویه در شکل



شکل ۴- نمودار عنکبوتی مقایسه مؤلفه‌های ارزیابی اثرات طرح آبخیزداری چغل شهرستان کهگیلویه.

Figure 4- Spider diagram comparing impact assessment indicators of the Chaghal watershed management plan in Kohgiluyeh County.

استخراج شد. بر این اساس، دسته اثر اقتصاد و بهره‌وری کشت با اندازه ویژه ۸/۴۶۱ از عامل‌های اقتصادی اثرگذار طرح آبخیزداری در منطقه مطالعه شده شناسایی شد. این یافته‌ها بیانگر اهمیت زیاد اثرات طرح بر عملکرد محصولات زراعی دیم، سطح زمین زراعی و کشت گیاهان دارویی در محدوده مطالعه‌شده بود؛ زیرا اجرای طرح‌های آبخیزداری در منطقه سبب بهبود مدیریت منابع آب و خاک، کاهش فرسایش، افزایش رطوبت خاک شده و شرایط بهتری برای کشاورزی و بهره‌وری فراهم آورده است. این عامل‌ها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر اقتصاد منطقه اثرگذارند. این نتایج با یافته‌های صادقی و همکاران (۲۰۲۵)، کرمی و همکاران (۲۰۲۲)، داوودی و همکاران (۲۰۲۱)، منیوانان و همکاران (۲۰۲۱) و حسنی و ملکی (۲۰۱۹) در زمینه درآمدزایی هماهنگی دارد. افزون بر این، سه دسته اثر مشارکت و تعامل اجتماعی، حس مکان و تبعیض از مهم‌ترین مؤلفه‌های اثرگذار اجتماعی ارزیابی شدند. نتایج این پژوهش مؤید این نکته بود که اجرای طرح آبخیزداری

در کشور، عملیات آبخیزداری در مناطق روستایی و آبخیزها با روش‌های زیستی و سازه‌ای به‌منظور مدیریت و حفاظت از منابع آب و خاک اجرا شده است. بر اساس روابط متقابل میان ویژگی‌های گوناگون در یک آبخیز، طرح‌های آبخیزداری باید بر اساس این روابط هدفمندسازی و برنامه‌ریزی شوند تا اثرگذار باشند. اجرای طرح‌های آبخیزداری در آبخیزها، اثرات مثبت و منفی پرشماری به همراه دارد. از این‌رو، هدف این پژوهش ارزیابی اثرات طرح آبخیزداری چغل در شهرستان کهگیلویه از دیدگاه بهره‌برداران بود. نتایج بخش کیفی این پژوهش بیانگر آن بود که از دیدگاه بهره‌برداران، در جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی اجرای طرح بر مجموعه مؤلفه‌های محیط‌زیستی شامل کیفیت خاک زراعی، آب و پوشش گیاهی اثرگذار بود. در بخش کمی داده‌های به‌دست‌آمده از مصاحبه با استفاده از مدل تحلیل عاملی اکتشافی تجزیه و تحلیلی شدند. نتایج این بخش نشان داد بر اساس معیار کیزر، در مجموع ۳۳ گویه در هشت دسته اثر با اندازه ویژه بیشتر از یک و پراکنش تجمعی ۷۳/۵۴۵

فعال تمام سودبران، از جمله دولت، جامعه‌های محلی، سازمان‌های غیردولتی و بخش خصوصی است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور کلی، داده‌های این پژوهش نشان‌دهنده اثرات مثبت و گسترده طرح آب‌خیزداری بر جامعه محلی آب‌خیز چغل بود. می‌توان گفت که اجرای طرح آب‌خیزداری در این منطقه منجر به بهبود معنادار بیشتر مؤلفه‌ها شد. نتایج بیانگر موفقیت این طرح در دستیابی به اهداف توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی روستاییان بود. در نتیجه می‌توان نتیجه گفت لازم است در راستای موفقیت طرح‌ها به اثرات آنها متناسب با دیدگاه‌های سه گانه توسعه پایدار توجه شود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود از نتایج این پژوهش در راستای اجرای دقیق و مناسب طرح‌های آب‌خیزداری با راهکارهای علمی و کاربردی به‌عنوان یک الگوی مناسب برای دیگر مناطق مشابه استفاده شود. در این راستا به‌منظور اجرای موفق طرح‌های آب‌خیزداری در آب‌خیز چغل پیشنهاد می‌شود برنامه‌های آموزشی در شهرستان کهگیلویه توسعه و ترویج داده شود. زیرا، برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای کشاورزان محلی می‌تواند مهارت‌ها و آگاهی آنان را در زمینه مدیریت منابع آب و شیوه‌های بهینه کشت افزایش دهد. با توجه به اثرات مثبت طرح آب‌خیزداری از دیدگاه بهره‌برداران پیشنهاد می‌شود اجرای این طرح‌ها در آینده ادامه یابد و در مناطق دیگر نیز طرح‌های مشابه اجرا شوند. هرچند این طرح با چالش‌هایی همراه بود که لازم است در پژوهش‌های آینده علت این مشکلات شناسایی شود تا پیش‌بینی‌های لازم برای رفع آنها انجام شود. همچنین، با توجه به اینکه تقویت مشارکت محلی در تمام مراحل طرح از برنامه‌ریزی تا اجرا، حس تعلق و اعتماد اجتماعی را افزایش داد، پیشنهاد می‌شود از ظرفیت‌های مردم محلی استفاده شود. افزون بر این، پیشنهاد می‌شود که زیرساخت‌های گردشگری در مناطق آب‌خیز توسعه یابد تا جذب گردشگران و درآمدهای محلی افزایش یابد. سرانجام، حمایت مالی ارگان‌های مربوطه برای انجام

در منطقه موجب تقویت مشارکت‌های محلی و هم‌افزایی میان ساکنان روستاها و همچنین نهادهای دولتی و غیردولتی شد. همچنین، اشتراک‌گذاری دانش و تجربیات میان سودبران مختلف، منجر به افزایش حس مسئولیت‌پذیری و حس مکان در میان اهالی منطقه شد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش ردی و همکاران (۲۰۱۷) و نرن‌درا و همکاران (۲۰۲۱) مبتنی بر افزایش مشارکت افراد محلی به‌دلیل اجرای طرح‌های آب‌خیزداری، همخوانی دارد. از دیدگاه محیط زیستی چهار دسته اثر خسارت‌های سیل، سلامت منابع آبی، گردشگری و طبیعت‌گردی و زیرساختی و منابع به‌عنوان مؤلفه‌های اثرگذار محیط‌زیستی شناسایی شدند. بر اساس نتایج این پژوهش در منطقه مطالعه‌شده با اجرای طرح و ایجاد زیرساخت‌های مدیریت سیلاب (مانند سدها و کانال‌های انحراف آب) و مدیریت صحیح کاربری زمین در مناطق مستعد سیل، می‌توان از آسیب‌های جانی و مالی سیل به جامعه‌های محلی و زیرساخت‌ها، به‌طور قابل توجهی کاست. اجرای برنامه‌های مدیریت آب‌خیزداری، از ورود آلاینده‌ها به منابع آبی جلوگیری کرده و سبب بهبود کیفیت و کمیت آب در منطقه می‌شود. این موضوع هم برای حفظ سلامت انسان‌ها ضروری است و هم برای پایداری زیست‌بوم‌های آبی و تأمین آب لازم برای کشاورزی و دیگر فعالیت‌های اقتصادی اهمیت دارد. نتایج پژوهش‌های پرشماری مؤید اثرات زیست‌محیطی طرح‌های آب‌خیزداری مانند بهبود زیرساخت، مهار فرسایش و کاهش خسارت سیل است (کرمی و همکاران ۲۰۲۲، سرائی تبریزی و محمدیان خراسانی ۲۰۲۲، جعفری و همکاران ۲۰۲۱، ردی و همکاران ۲۰۱۷ و جانسون و همکاران ۲۰۱۳). نتایج این پژوهش با یافته‌های این پژوهشگران هم‌راستا است. از این‌رو، اجرای این طرح با رویکردی جامع و یکپارچه، می‌تواند به‌طور همزمان به حل مشکلات زیست محیطی، بهبود وضعیت اقتصادی، اجتماعی و ارتقای کیفیت زندگی در منطقه مطالعه‌شده کمک کند. با این حال، موفقیت طرح مستلزم همکاری و مشارکت

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در زمینه 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، راهنمایی، بررسی نتایج،

بازبینی متن مقاله

نویسنده دوم: مشاوره، بازبینی متن مقاله

نویسنده سوم: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های

نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله

طرح‌های آبخیزداری و ایجاد همکاری میان سازمان‌های دولتی، غیردولتی و نهادهای محلی به‌منظور اجرای مؤثرتر طرح‌های آبخیزداری و ارتقاء بخشیدن به بهره‌وری و پایداری منابع طبیعی ضروری است.

سپاس‌گزاری

از تمام کشاورزان و روستائیان منطقه چغل که در مراحل داده‌برداری برای انجام این پژوهش همکاری و مشارکت مؤثری داشتند، سپاس‌گزاری می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

فهرست منابع

Ahmadvand M, Karami E. 2017. Social impacts evaluation and insider-outsider paradigm: Floodwater spreading project on the Gareh-Bygone plain as an illustrative case. *Evaluation and Program Planning*. 65: 69-76.

<https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2017.07.004>

Asif Z, Chen Z, Sadiq R, Zhu Y. 2023. Climate change impacts on water resources and sustainable water management strategies in North America. *Water Resources Management*. 37(6): 2771-86.

<https://doi.org/10.1007/s11269-023-03474-4>

Bagharian Kalat A, Lashkaripour GM. 2020. Evaluating the effect of watershed measures on vegetation and the amount of erosion and sedimentation in Khakhak Watershed. *Environmental Science and Technology*. 7(23): 51-63. (In Persian).

<https://doi.org/10.30495/jest.2022.27360.3642>

Darabi M, Qara Daghi H, Najabat M. 2018. Evaluation of the performance of watershed management projects on the rate of erosion and sediment transport in the Sivand dam watershed, Fars Province. *Hydrogeomorphology* 14: 199-218. (In Persian).

<https://doi.org/10.22034/HYD.2020.11160>

Davoudi M, Dokhani S, Qadawi R. 2021. Evaluating the effects of watershed structures in arid and semi-arid areas of Isfahan province from the perspective of economic, social and natural indicators. *Journal of Soil Science and Technology*. 3(2): 27-43. (In Persian).

<https://doi.org/10.22034/jamst.2023.544021.1097>

Hasani H, Maleki M. 2019. Socio-economic impact assessment of watershed plans implemented from the perspective of stakeholders (case study: Hasan Abdal Basin-Zanjan Province). *Iran Watershed Science and Engineering*. 13(45): 54-62. (In Persian).

<https://doi.org/10.3390/su13191125>

Jafari A, Sarai Tabrizi M, Babazadeh H. 2021. Effects of watershed management practices in reducing the erosion and sedimentation (Case Study: Alikandi Boukan Watershed). *Applied Soil Research*. 8(4): 57-68. (In Persian).

Johnson JN, Govindaradjane S, Sundararajan T. 2013. Impact of watershed management on the groundwater and irrigation potential: A case study. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. 2(8): 42-45.

Karami A, Ahmadvand M, Asimeh M. 2022. Assessment of the Social, Economic and Environmental Impacts of the Watershed Management Plan from the Perspective of the Villagers of Garmabad Watershed Basin in Fars Province. *Village and Development* 26 (102): 55-78. (In Persian).

<https://doi.org/10.30490/rvt.2023.357724.1442>

Karimi R. 2016. Easy Guide to Statistical Analysis with SPSS. Tehran, Hengam Publications. 318 p. (In Persian).

Legesse A, Bogale M, Likisa D. 2018. Impacts of communitybased watershed management on land use/cover change at elemo micro-watershed, Southern Ethiopia. *American Journal of Environmental Protection*. 6(3): 59-67. <https://doi.org/10.12691/env-6-3-2>

- Manivannan S, Khola OPS, Kannan K, Hombegowda HC, Singh DV, Sundarambal P, Thilagam VK. 2021. Comprehensive impact assessment of watershed development projects in lower Bhavani Catchments of Tamil Nadu. *Journal of Soil and Water Conservation*. 20(1): 66-73. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2021.00003.5>
- Narendra BH, Siregar CA, Dharmawan IWS, Sukmana A, Pratiwi, Pramono IB, Nugroho H, Supangat A, Setiawan O, Nandini R, Arifatul N, Arifanti VB, Yuwati TW. 2021. A review on sustainability of watershed management in Indonesia. *Sustainability*. 13(19): 1-29.
- Poesen J. 2018. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surf Process and Landforms*. 43(1): 64-84. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>
- Prosser IP, Chiew FH, Stafford Smith M. 2021. Adapting water management to climate change in the Murray-Darling Basin, Australia. *Water*. 13(18): 1-19. <https://doi.org/10.3390/w13182504>
- Reddy VR, Saharawat YS, George B. 2017. Watershed management in South Asia: A synoptic review. *Journal of hydrology*. 551: 4-13. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.043>
- Sadeghi A, Hassanzadeh Nafooti M, Jamali A, Salehi A. 2022. Barriers to the Participation of Villagers in Qaleh Shahrokh Chadegan Basin in Watershed Management Plans. *Journal of Space Economy and Rural Development*. 11(1): 111-130.
- Sadeghi H, Alipour R, Fereydouni H, Enayati F, Pakravan A, Yaghuti R, Moradnejad M, Esmailzadeh Ashini F, Abdolbaqi F, Moussavian S, Chamani R, Bahleke M, Beigi H. 2025. Analysis of desirable characteristics of watershed management in detailed-implementation studies of the watershed management case study: Daftabad Watershed, South Khorasan, Iran. *Watershed Engineering and Management*. 17(2): 152-174. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2025.368017.2095>
- Sarai Tabrizi M, Mohammadian Khorasani Sh. 2022. Field evaluation of the effect of watershed management operations and water resources sustainable management on reducing erosion and sediment from floods. *Applied Soil Research*. 10(3): 104-116. (In Persian). <https://doi.org/10.5958/245510.30466/ASR.2022.121253>
- Syafri S, Surya B, Ridwan R, Bahri S, Rasyidi E. S, Sudarman S. 2020. Water quality pollution control and watershed management based on community participation in Maros City, South Sulawesi, Indonesia. *Sustainability*. 12(24): 1-39. <https://doi.org/10.3390/su122410260>
- Wang G, Mang S, Cai H, Liu S, Zhang Z, Wang L, Innes JL. 2016. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*. 27: 967-994. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>
- Widaman KF, Helm JL. 2023. Exploratory factor analysis and confirmatory factor analysis. In H. Cooper, M. N. Coutanche, L. M. McMullen, A. T. Panter, D. Rindskopf, & K. J. Sher (Eds.), *APA handbook of research methods in psychology: Data analysis and research publication* (2nd ed.,). pp. 379-410). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000320-017>



The Villagers' Perspectives on the Effects of the Chaghal Watershed Management Plan in Kohgiluyeh County

Mostafa Ahmadvand¹, Ayatollah Karami², Maryam Afereydouni³

1- Professor of Agricultural Extension and Development, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

2- Professor of Agricultural Economics, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

3- Ph.D. Student of Agricultural Development, Department of Rural Development Management, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

In Iran, with its arid and semi-arid climate and ongoing climate changes, the efficient utilization of water and soil resources is critically important. This reality heightens the significance and necessity of conservation measures employing modern methods. Consequently, the implementation of watershed management plans and operations is recognized as an accepted and effective approach for water and soil conservation, while the evaluation of these projects' impacts serves as an important criterion for assessing their value. Furthermore, the execution of these initiatives entails both positive and negative outcomes, and failure to address them complicates the assessment of the projects' success in enhancing water and soil productivity. Therefore, identifying and categorizing the effects of watershed management projects can serve as an effective step toward improving methodologies, mitigating adverse impacts, and advancing these initiatives. Moreover, examining the role of these projects in the development of rural communities requires precise and quantitative evaluation to analyze their impacts from social, environmental, and economic perspectives. Therefore, this study was conducted with the aim of assessing villagers' perspectives on the effects of the Chaghal Watershed Management Plan in Kohgiluyeh County.

Materials and Methods

The scope of this study was the Chaghal watershed management plan in Kohgiluyeh County. Over the past years, numerous measures have been implemented in the Chaghal watershed to prevent erosion and improve vegetation cover, including seed broadcasting, seeding, and the construction of mortar stone structures and gabion mesh check dams. Gabion stone structures (stone mesh) with an operational volume of 900 m³ and mortar stone structures with 3000 m³ have been implemented in the studied watershed. This research used a sequential exploratory approach as the research strategy.

Article Type: Research Article

*Corresponding Authors' E-mail: Mahmadvand@yu.ac.ir

Citation: Ahmadvand, M., Karami, A., Afereydouni, M. 2025. The Villagers' Perspectives on the Effects of the Chaghal Watershed Management Plan in Kohgiluyeh County. Watershed Management Research. 38(3): 138-158.

DOI: 10.22092/wmrj.2025.368670.1617

Received: 20 February 2025, **Received in revised form:** 20 March 2025, **Accepted:** 21 June 2025

Published online: 23 September 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No. 3, Ser. No: 148, Autumn 2025, pp. 138-158.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



In the first stage, using semi-structured interviews and snowball sampling with 16 well-known people familiar with the watershed management plan implemented in the village in the study area, potential impacts of the plan in the studied region were identified and continued until data saturation was achieved. Based on the results of this stage, the impact components were identified and listed. Subsequently, based on these components, a questionnaire consisting of two sections—individual characteristics (Section 1) and the effects of the watershed management plan in the study area (Section 2)—was designed. The items were then structured using a five-point Likert scale ranging from severely decreased (-2) to severely increased (2+). Then, 100 villagers from the study area were selected as the statistical sample through simple random sampling and interviewed. For the analysis of the data obtained from the questionnaires, descriptive statistics (frequency, mean, coefficient of variation) and inferential statistics (exploratory factor analysis and comparison of means) were used in the analysis of the data collected from the questionnaire.

Results and Discussion

In the qualitative phase of the study, potential impact components of the watershed management plan in the Chaghal watershed, were identified and analyzed. These components comprised 41 concepts derived from interview. Quantitative data analysis was performed using SPSS22 software to categorize the obtained concepts. Additionally, exploratory factor analysis and a one-sample t-test were employed to analyze the data for identifying the effects of the watershed management plan. Based on the factor analysis results, the plan's impacts were categorized into eight groups. In explaining the total variance distribution, the highest contribution belonged to the first category (24.173%) and the lowest to the eighth category (4.558%), collectively accounting for 73.54% of the total explained variance. Furthermore, the findings indicated positive and significant effects of the plan's implementation on environmental, social, and economic dimensions. Economically, these effects included increased productivity and improved cropping patterns; socially, they enhanced participation and strengthened the sense of place; and environmentally, they reduced flood damage and promoted tourism.

Conclusion and Suggestions

The results of the study show that the positive impacts of the Chaghal watershed plan from various social, economic and environmental dimensions. The quantitative data analysis also indicate that the implementation of the watershed management plan has positively contributed to improving environmental conditions, infrastructure, social activities, and overall sense of loyalty and attachment to the environment and community. From an economic standpoint, a significant increase in productivity and improved cropping patterns were also observed. It is recommended that the findings of this study be utilized to enhance the efficiency and effectiveness of watershed management plans in Kohgiluyeh County and to achieve sustainability in communities surrounding such projects. In this regard, the following measures are suggested: developing educational and extension programs, strengthening local participation in watershed management, expanding tourism infrastructure, identifying and supporting the cultivation and development of medicinal plants and value-added products, and finally, fostering collaboration among governmental organizations, non-governmental entities, and local institutions for more effective implementation of watershed management plans and the enhancement of productivity and sustainability of natural resources.

Keywords: Chaghal watershed, flood control, socio-economic impact assessment, watershed inhabitants

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We gratefully acknowledge the farmers and villagers of the Chaghal region for their effective collaboration during the data collection stages of this research.

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, methodology, supervision

Author 2: Visualization, supervision, manuscript editing

Author 3: Writing - original draft preparation, formal analysis and investigation

نام‌های داورانی که در این شماره با نشریه همکاری کردند:

(به ترتیب حروف الفبا)

آقابیک‌امین، سهیلا

پاک‌پرور، مجتبی

جعفری، ابوالفضل

جهانتاب، اسفندیار

چوبین، بهرام

حبیبیان، سید محمدرضا

حزباوی، زینب

حسینی، سید احمد

حق‌آبی، امیرحمزه

خسروی، حسن

خلیلی، داور

دستورانی، محمدتقی

رستمی‌زاد، قباد

زارع، محمد

سلیمان‌پور، سید مسعود

سلیمانی، فریدون

صالح‌پور جم، امین

صوفی، مجید

عرفانی‌فرد، سید یوسف

کاویان، عطاالله

کله‌هوایی، مهین

مصطفی‌زاده، رئوف

مهدوی، سیده خدیجه

نوروزی، علی‌اکبر



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

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 ؟؟.

© نویسنندگان

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).

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.

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 این‌صورت، 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 کدهای 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

مطالب مربوط به واژه‌نامه، توضیحات جانبی مختصر، معادل لاتین اسامی و اصطلاحات و بیان کامل واژه‌های مخفف بایستی به‌صورت 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

1-Footnote

بی- نازنین پررنگ ۱۱۲ 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.

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: Layout | Columns | More Columns 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

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، کنترل نتایج.

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

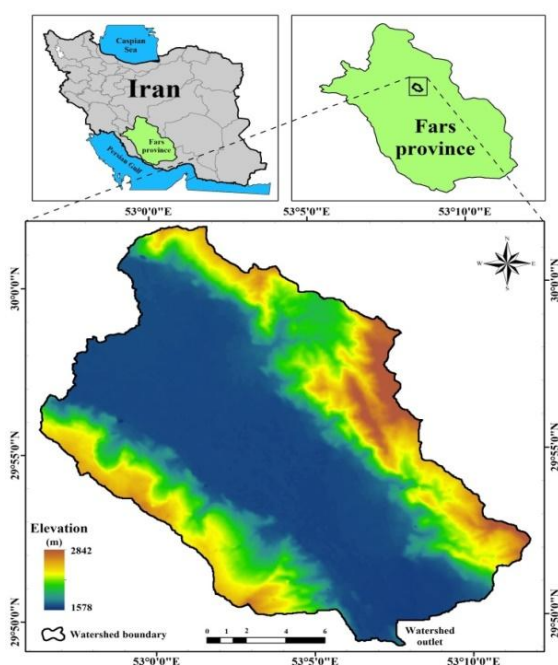
با ذکر تاریخ منبع مورد استفاده (بر حسب سال میلادی)، در داخل علامت دو کمان () نوشته شوند. مانند: کوثر (۲۰۱۹)، و یا تامسون و همکاران (۲۰۲۱). اگر منبع ۱ استفاده شده در پایان جمله آورده می شود، نام نویسنده و تاریخ باید درون دو کمان () نوشته شود. مانند: (احمدی ۲۰۲۲)، و (برادفورد و همکاران ۲۰۲۳).

فهرست منابع در پایان مقاله به ترتیب حروف الفبا آورده شود، و هیچ منبعی در زیرنویس آورده نشود.

استفاده از ضخامت خطوط مختلف، نمادها و یا استفاده از خطوط ممتد، نقطه چین و خط چین) پرهیز شود.

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



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Figure 1- Geographical location of the study area.

۱. تازه‌ترین پژوهش بر شدت بارندگی در این منطقه (سیپیون ۲۰۱۹) نشان می‌دهد که ..
۲. اگر نام نویسنده بخشی از جمله است، تنها تاریخ را در دو کمان () بگذارید:
مثال: هاگیهارا و اینو (۲۰۲۱) دریافتند که ...

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:

مثال: وایل (۱۹۹۹، ۲۰۱۰، ۲۰۲۲) مدل‌های مختلف برآورد سیلاب را شرح داده است.

۵. بیش از دو کار انجام شده یک نویسنده در یک سال: برای تمایز میان منابع چاپ شده از یک نویسنده در یک سال از حروف الفبا (الف، ب، و مانند آن‌ها) استفاده کنید. این ترتیب را هنگام فهرست کردن آن‌ها در بخش منابع نیز حفظ کنید.

مثال: راش (۲۰۲۰الف، ۲۰۲۰ب) پذیرفت 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)

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:

جدول ۲- عنوان جدول (قلم بی - نازنین ۱۱ پررنگ).

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

جدا نمی‌شود. حرف اول تنها در اولین واژه عنوان مقاله با حروف بزرگ نوشته می‌شود.

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 دو نقطه (:، و) 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 شماره گذاری 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.

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

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 (یو اس 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 نام خانوادگی، تنها حرف اول نام کوچک نویسنده‌ها می‌آید و این حرف‌ها با نقطه یا فاصله از هم

Ghorbani M. 2012. The role of social networks in operation mechanisms of rangeland (Case Study: Taleghan area). Ph.D. Dissertation. Faculty of Natural Resources. Tehran University, 430 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).

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.

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.



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 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) Name and Family of Author 1: Writing - original draft preparation

(For Example) Name and Family of Author 2: Resources, Software, Manuscript editing

(For Example) Name and Family of Author 3: Formal analysis and investigation

(For Example) Name and Family of Author 4: Visualization, Supervision

(For Example) Name and Family of 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. 3, Ser. No. 148, Autumn 2025

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

148

ISSN: 2981-2038

Vol. 38, No. 3, Ser. No. 148, Autumn 2025

- **Assessing Watershed Management Measures Using the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) in the Khanik-Gonabad Watershed**
Zahra Ali Dastranj, Hamzeh Noor, Amin Salehpour Jam 1
- **Stability of Genaveh Port Protection Structure against Northern Waves of the Persian Gulf**
Mohammadreza Gharibreza, Mehdi Nikokar, Gitta Baradara Ebrahi, Arsalan Panahi, Ehsan Safa 16
- **Identification of Areas Prone to Subsidence Risk and Factors affecting it Using GLM and Cforest Models in the Kerdi Shirazi Plain**
Razieh Seihani Parashkouh, Hamid Gholami, Yahya Esmaeilpour, Alireza Kamali, Maryam Zare Rashkoueh 40
- **Measuring Socio-cultural Resilience of Rural Environments Exposed to Flood Risk Using the TOPSIS Method**
Amin Salehpour Jam, Noredin Rostami, Shokoufeh Abdali, Jamal Mosaffaie 57
- **Evaluation of the Efficiency of Support Vector Machine and Artificial Neural Network Models in Modeling Soil Loss Due to Gully Erosion**
Seyed Masoud Soleimanpour, Omid Rahmati, Samad Shadfar, Maryam Enayati 78
- **Spatial Distribution of Surface Soil Organic Carbon in Vegetation Types of Chehelgazi Rangelands, Sanandaj City, Kurdistan Province**
Salahudin Zahedi, Rostam Khalifehzade 100
- **Assessment of the Impact of Watershed Management Measures on Flood Characteristics in the Ab-Mahi and Chikan-Morzian Watersheds, Fars Province**
Roya Ghahremani, Ebrahim Omidvar, Siamak Dokhani 120
- **The Villagers' Perspectives on the Effects of the Chaghal Watershed Management Plan in Kohgiluyeh County**
Mostafa Ahmadvand, Ayatollah Karami, Maryam Afereydouni 138