پژوهش‌های آبخیزداری

۱۴۷

دوره ۳۸، شماره ۲ شماره پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴

- **مقایسهٔ داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی برای تحلیل شاخص خشک‌سالی در استان خراسان‌رضوی**

  زهرا شیرمحمدی‌علی‌اکبرخانی.....۱

- **ارزیابی اثرات اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی طرح آبخیزداری دشت امام‌زاده جعفر شهرستان گچساران**

  آیت اله کرمی، مصطفی احمدوند، فاطمه علی‌پناهیان.....۲۰

- **بهینه‌سازی شبکهٔ پایش کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری و MCDM**

  حمید غلامی، شهرام گلزاری، علی‌اکبر محمدی‌فر، حوریه زحمتکش، مریم زارع.....۳۸

- **ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین با استفاده از مدل سلول خودکار- شبکهٔ عصبی مصنوعی (CA-ANN) در دشت داراب استان فارس**

  فاطمه عابدی، عطاالله کاویان، لیلا غلامی، وحید موسوی.....۶۲

- **علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران**

  صمد شادفر، مجید صوفی.....۸۳

- **بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد فارس**

  علیرضا مجیدی، حمید حسینی‌مرندی.....۹۸

- **تحلیل رابطهٔ اجزای بودجه رسوب با سنجه‌های پستی‌بلندی در مقیاس دامنه در زیرآبخیز شاهد معرف-زوجی خامسان**

  رضا زارعی، عبدالواحد خالدی‌درویشان، محمدرضا زارع، پائولو پورتو.....۱۱۸

- **کاربست چارچوب مدیریت بحران سیل در استان البرز با تأکید بر شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی راهکارها**

  اردشیر مصباح، اسماعیل کرمی‌دهکردی، علی توحیدلو، امین صالح‌پور جم، توفیق سعدی.....۱۳۹

نشریهٔ علمی "پژوهش‌های آبخیزداری"

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

دوره ۳۸، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴

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

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

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

اعضای هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

امیر حمزه حقی آبی، استاد گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان

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

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

محمد زارع، استاد بخش علوم زمین دانشکده علوم دانشگاه شیراز

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

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

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

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

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

مدیر داخلی: سید مسعود سلیمان پور، دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

ویراستار و کارشناس اداری: مریم عنایتی، کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

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

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

این نشریه در پایگاه‌های استنادی علوم جهان اسلام (ISC) با ISSN ۲۹۸۱-۲۰۳۸ 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 نوشته ها 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 نشریهٔ پژوهش‌های آبخیزداری

کدپستی : ۶۳۵۱۱-۷۱۵۵۸

صندوق پستی: ۶۱۷-۷۱۵۵۵

تلفن: ۳۷۲۰۴۹۵۹ (۰۷۱) داخلی -۲۲۴

دورنگار: ۳۷۲۰۶۳۷۶ (۰۷۱)

تارنما: http://wmrj.areeo.ir

رایانامه: wmrj@areeo.ac.ir

پژوهش های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

فهرست

شماره ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴

مقایسهٔ داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی برای تحلیل شاخص خشک‌سالی در استان خراسان‌رضوی

زهرا شیرمحمدی‌علی‌اکبرخانی ۱

ارزیابی اثرات اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی طرح آبخیزداری دشت امام‌زاده جعفر شهرستان گچساران

آیت اله کرمی، مصطفی احمدوند، فاطمه علی پناهیان ۲۰

بهینه‌سازی شبکهٔ پایش کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری و MCDM

حمید غلامی، شهرام گلزاری، علی‌اکبر محمدی‌فر، حوریه زحمتکش، مریم زارع ۳۸

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین با استفاده از مدل سلول خودکار- شبکهٔ عصبی مصنوعی (CA-ANN) در دشت داراب استان فارس

فاطمه عابدی، عطاالله کاویان، لیلا غلامی، وحید موسوی ۶۲

علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران

صمد شادفر، مجید صوفی ۸۳

بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد فارس

علیرضا مجیدی، حمید حسینی‌مرندی ۹۸

تحلیل رابطهٔ اجزای بودجه رسوب با سنجه‌های پستی‌بلندی در مقیاس دامنه در زیرآبخیز شاهد معرف زوجی خامسان

رضا زارعی، عبدالواحد خالدی‌درویشان، محمدرضا زارع، پائولو پورتو ۱۱۸

کاربست چارچوب مدیریت بحران سیل در استان البرز با تأکید بر شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی راهکارها

اردشیر مصباح، اسماعیل کرمی‌دهکردی، علی توحیدلو، امین صالح‌پور جم، توفیق سعدی ۱۳۹

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

مقایسهٔ داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی برای تحلیل شاخص خشک‌سالی در استان خراسان‌رضوی

زهرا شیرمحمدی‌علی‌اکبرخانی*
گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام، تربت جام، ایران

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

خشک‌سالی یک خطر طبیعی پیچیده است که می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی داشته باشد. روش‌های سنتی ارزیابی خشک‌سالی اغلب به اندازه‌گیری‌های بارندگی زمینی متکی هستند که به ویژه در مناطق دورافتاده و توسعه‌نیافته پراکنده و توزیع مناسبی ندارند. شاخص بارش استانداردشده (SPI) به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی و پایش خشک‌سالی به‌ویژه در مناطق خشک استفاده می‌شود. با این‌حال، قابلیت اعتماد محاسبات SPI به‌شدت به دسترسی و دقت داده‌های بارندگی وابسته است. داده‌های بارندگی ماهواره‌ای (SPPs) همراه با پوشش جامع و داده‌های پیوسته در مناطق گسترده و به‌ویژه در مناطقی با مشاهده‌های زمینی محدود، جایگزین مناسبی است.

مواد و روش‌ها

با استفاده از چهار داده میانگین ماهانهٔ بارش، شامل: TRMM 3B43 (TRMM)، GPM-IMERGv6 (GPM)، PERSIANN-CDR(PERSIANN) و ERA5 موجود در موتور جستجوگر گوگل‌ارث، شاخص خشک‌سالی ۱۲ ماهه محاسبه شد. سپس، این شاخص با شاخص محاسبه‌شده با استفاده از داده‌های بلندمدت بارش ایستگاه‌های زمینی در دورهٔ آماری هر ایستگاه به‌شکل جداگانه و تجمیعی در سطح استان خراسان‌رضوی در شمال‌شرقی ایران مقایسه شد. ایستگاه‌های انتخاب‌شده شامل قوچان، گناباد، کاشمر، مشهد، نیشابور، سرخس، سبزوار، گلمکان، تربت‌جام و تربت‌حیدریه بودند. دورهٔ پژوهش از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ بود و شامل تغییرات اقلیمی و رویدادهای خشک‌سالی گوناگونی بود.

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی**: shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir
استناد: شیرمحمدی‌علی‌اکبرخانی، ز. ۱۴۰۴. مقایسهٔ داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی برای تحلیل شاخص خشک‌سالی در استان خراسان‌رضوی. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۲): ۱۹-۱.
شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/wmrj.2024.366564.1591
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰، **تاریخ بازنگری**: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳، **تاریخ پذیرش**: ۲۹ /۱۴۰۳/۰۶، **تاریخ انتشار**: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های۱ تا ۱۹.
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس
© نویسندگان
CC BY

برای ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای، چندین معیار ارزیابی عملکرد (ضریب همبستگی، ریشهٔ میانگین مربعات خطا، بایاس نسبی، شاخص ناش-ساتکلیف و احتمال برآورد) محاسبه شد. با استفاده از این معیارها می‌توان در چارچوب بسیارخوبی، دقت و قابلیت اطمینان داده‌های ماهواره‌ای را در برآورد شاخص خشک‌سالی ارزیابی کرد.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای نتایج متفاوتی در ایستگاه‌های گوناگون نشان داد. عملکرد داده‌های TRMM در تربت‌حیدریه، قوچان، کاشمر، مشهد و نیشابور بهتر بود. این داده دارای ضریب همبستگی زیاد و اندازه‌های کم ریشهٔ میانگین مربعات خطا با داده‌های زمینی بود که این موضوع نشانگر قابلیت اطمینان آن در این مناطق بود. عملکرد داده‌های PERSIANN و GPM به‌ترتیب در گلمکان و سبزوار بهتر بود و با داده‌های بارشی ایستگاه‌های زمینی تطابق بهتری را نشان دادند. بیشترین دقت در تربت‌جام، گناباد و سرخس مربوط به داده‌های ERA5 بود. نتایج معیارهای بایاس نسبی و میانگین خطا نشان داد داده‌های ماهواره‌ای به‌طورکلی برآوردهای دقیقی از بارش با کمترین انحراف سامانمند از داده‌های زمینی، ارائه دادند. اندازه‌های شاخص نش-ساتکلیف که می‌توان با استفاده از آن دقت پیش‌بینی مدل‌ها را اندازه‌گیری کرد، برای داده‌های برتر بیش از ۰/۶۵ بود که نشان‌دهندهٔ کارایی زیاد این داده‌های در پایش خشک سالی بود. نتایج تحلیل‌های آماری داده‌های نقطه به نقطه در مقایسه با داده‌های تجمیعی در سطح استان بهتر بود. در تحلیل تجمیعی، بیشترین ضریب همبستگی (CC=۰/۸)، بیشترین شاخص نش-ساتکلیف (NSC=۰/۵۵)، کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE=۰/۶۱) و بیشترین احتمال برآورد (POD=۰/۷۰) از داده‌های ماهواره‌ای TRMM به‌دست آمد. به نظر می‌رسد ایستگاه‌های تکی ممکن است به‌دلیل شرایط خاص محلی مانند وجود منابع آب محلی، پوشش گیاهی ویژه یا دخالت‌های انسانی، داده‌هایی متفاوت از کل استان ارائه دهند. ازاین‌رو، با تجمیع داده‌ها در سطح استان، تأثیر این ناهنجاری‌های محلی افزایش یافت و نتایج به‌دست‌آمده به‌دلیل کاهش دقت نتایج و افزایش تأثیر ناهنجاری‌های محلی، به‌خوبی نمایانگر وضعیت واقعی اقلیمی استان نبود. می‌توان نتیجه گرفت که اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای نامبرده در تعیین شاخص خشک‌سالی ۱۲ ماهه باید به‌شکل محلی انجام شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس ارزیابی دقت SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه، عملکرد داده‌های بارش به‌دست آمده از ماهواره در مناطق مطالعه‌شده خوب بود. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری جداگانهٔ داده‌ها در هر ایستگاه در مقایسه با بررسی تجمیعی ایستگاه‌ها بهتر بود. به‌طور ویژه، دقت داده‌های TRMM برای ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد، نیشابور و کاشمر، داده‌های GPM برای ایستگاه سبزوار، داده‌های ERA5 برای ایستگاه‌های تربت‌جام، سرخس و گناباد و داده‌های PERSIANN برای ایستگاه گلمکان مناسب بودند و برای مدیریت منابع آب و پایش خشک‌سالی می‌توان از آنها بهره برد. پیشنهاد می‌شود، با توجه به‌دقت مناسب داده‌های ماهواره‌ای، این داده‌ها به‌عنوان یک مجموعه داده بلندمدت با ارزش برای بررسی خشک‌سالی‌ها در مناطق مطالعه‌شده استان خراسان‌رضوی به‌کار برده شوند. چونکه در داده‌های ماهواره‌ای از منابع متفاوتی از داده‌ها استفاده می‌شود و هرکدام از این داده‌ها ممکن است تحت تأثیر عامل‌های گوناگون محیطی، جغرافیایی، و اقلیمی باشند. ازاین‌رو، به‌دلیل ویژگی‌های محلی و تفاوت‌های ذاتی در دستورالعمل‌های استفاده‌شده در هر داده، نبود عملکرد یکسان در همه ایستگاه‌ها قابل پیش‌بینی بود. بنابراین پیشنهاد می‌شود از داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس گسترده، از روش‌های تحلیل داده، واسنجی محلی، و مدل‌سازی نبودن قطعیت‌ها به‌شکل ترکیبی استفاده کرد تا بتوان به ضریب اطمینان مناسب برای این داده‌ها دست یافت.

واژگان کلیدی

ارزیابی خشک‌سالی، داده‌های بارش ماهواره‌ای، مناطق خشک و نیمه‌خشک، موتور جستجوگر گوگل‌ارث

مقدمه

خشک‌سالی به عنوان یکی از بلایای زیست‌محیطی در زمینه‌های گوناگونی چون محیط‌زیست، بوم‌نظام، آب‌شناسی، هواشناسی، زمین‌شناسی و کشاورزی بسیار به آن توجه‌شده است که بدون شک یکی از پیچیده ترین پدیده‌های طبیعی به‌شمار می‌آید (فلر ۲۰۱۶). این پدیده یک ویژگی ذاتی اقلیمی است و بازگشت آن اجتناب‌ناپذیر است. خشک‌سالی غالباً به‌تدریج در مناطق گسترده‌ای توسعه می‌یابد. عامل‌های تعیین کنندهٔ اثر خشک‌سالی شامل شدت، گستردگی منطقه، فراوانی و مدت آن است که به‌وسیلهٔ ساز و کارهای طبیعی تنظیم می‌شود که به‌راحتی قابل درک نیستند و مهار آن‌ها دشوار است (اباسی ۱۹۹۴؛ فلر ۲۰۱۶). این پدیده متأثر از بارش، تبخیر و تعرق، دما، رطوبت قابل دسترس خاک و شرایط دردسترس بودن آب‌های زیرزمینی است (خسروی و همکاران ۲۰۱۷؛ مونتاندون و اسمال ۲۰۰۸؛ شهاب‌فر و همکاران ۲۰۱۲). پیش‌بینی دقیق خشک‌سالی به انتخاب صحیح متغیرهای ورودی بستگی دارد و نوع خشک‌سالی را که باید پیش‌بینی شود، تعیین می‌کند (میشرا و سینگ ۲۰۱۰). هیچ تعریف واحدی از خشک‌سالی وجود ندارد. تعریف اولیه خشک‌سالی به‌وسیلهٔ آب‌شناسان و متخصصان آب یعنی کمبود بارش‌های معمول و هوای خشک برای آبخیزها در هر نقطه از جهان در یک بازه زمانی خاص است (سازمان جهانی هواشناسی ۲۰۱۲). به‌طورکلی سه نوع خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و آب‌شناختی در نظر گرفته می‌شود (ویلیت و گلانتز ۱۹۸۷؛ توپچو و سکین ۲۰۱۶). همان‌طور که تعریف واحدی از خشک‌سالی وجود ندارد، شاخص خشک‌سالی واحدی نیز ندارد که الزامات همه کاربردها را برآورده کند. یکی از شاخص های قابل قبول در تعیین انواع خشک‌سالی‌ها شاخص بارش استانداردشده (SPI) می‌باشد که نقطه قوت واقعی آن توانایی محاسبه چندین مقیاس زمانی است که امکان مقابله با بسیاری از انواع خشک‌سالی را ممکن می‌سازد. SPI یک شاخص خشک‌سالی هواشناسی بسیار مطلوب است که منحصراً بر اساس داده‌های بارش است. SPI روش آسان و انعطاف‌پذیری برای پایش خشک‌سالی در مقیاس‌های مختلف از شرایط تقریباً طبیعی تا خشک‌سالی شدید است (مک‌کی و همکاران ۱۹۹۳؛ مک‌کی ۱۹۹۵). این شاخص اغلب به‌وسیلهٔ تصمیم‌گیرندگان برای اندازه‌گیری و پایش شدت رویداد های خشک‌سالی هواشناسی استفاده‌شده است. افزون‌براین، SPI برای شناسایی گسترهٔ مکانی-زمانی خشک‌سالی‌های تاریخی طولانی‌مدت نیز مفید است و در پژوهش‌های پرشماری مناسب بودن آن برای برآورد خشک‌سالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت گزارش‌شده است (بلاینه و همکاران ۲۰۱۴؛ دوتا و همکاران ۲۰۱۳،۲۰۱۵؛ گاتمن ۱۹۹۸؛ نرش کومار و همکاران ۲۰۰۹؛ پاتل و همکاران ۲۰۰۷؛ ژانگ و جیا ۲۰۱۳). از این شاخص می‌توان در مقیاس‌های زمانی متفاوت کوتاه‌مدت (۳-۱ ماه) یا مقیاس بلندمدت (۹-۱۲ ماه) استفاده کرد. تفسیر اندازه‌های SPI بستگی به مقیاس زمانی استفاده‌شده دارد.

میان SPI یک تا سه ماهه و شرایط رطوبت کوتاه‌مدت خاک نسبت به بارش در مقیاس زمانی کوتاه ارتباط نزدیکی وجود دارد (سازمان هواشناسی جهانی ۲۰۱۲). اما ارتباط میان SPI شش تا نه ماهه به جریان رود و SPI بلندمدت (۱۲ بیش از ماه) با جریان آب زیرزمینی بستگی دارد. استفاده از این شاخص در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت و در مناطق خشک با تفسیرهای گمراه‌کننده ای همراه است (سازمان هواشناسی جهانی ۲۰۱۲).

اندازه‌های صفر می‌توانند محاسبات SPI را منحرف کرده و در نتیجه، فرض بهنجار بودن توزیع SPI را نقض کنند. بنابراین، در تعیین SPIهای کوتاه‌مدت در مناطق خشک باید دقت داشت. وو و همکاران (۲۰۰۷) بهنجار بودن اندازه‌های SPI را در مکان‌های مختلف در ایالات متحده بررسی کردند. در برخی از مکان‌ها (کانزاس و نبراسکا)، مشخص شد که SPIهای کوتاه‌مدت (تا مقیاس زمانی ۶ هفته‌ای) به‌طور بهنجار توزیع نشدند. بنابراین نتیجه گرفتند که شاخص SPI برای تشخیص سریع اثرات خشک‌سالی، هنگامی که در مقیاس‌های زمانی کوتاه استفاده می‌شود مؤثر است. ازاین‌رو، در مناطق خشک، قابلیت اطمینان آن می‌تواند تحت تأثیر

فراوانی اندازه‌های صفر بارندگی باشد که منجر به توزیع غیر بهنجار اندازه‌های SPI می‌شود. این شاخص به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی و نظارت بر خشک‌سالی در دوره های مختلف زمانی، از جمله دوره‌های ۱۲ ماهه استفاده می‌شود. شاخص بارش استانداردشده (SPI) با مقیاس زمانی ۱۲ ماهه به‌عنوان ابزاری حیاتی برای ارزیابی شدت خشک‌سالی هواشناسی و تنوع در مناطق مختلف از جمله غرب ماهاراشترا، هند (بهاگت و همکاران ۲۰۲۲)، ناحیه بوریچا (انگداو و همکاران ۲۰۲۲)، یونان (تسملیس و همکاران ۲۰۲۲) و ناحیۀ گاجاپاتی اودیشا (موهانتا و همکاران ۲۰۲۰) در نظر گرفته‌شده است. در این مناطق برای انجام این پژوهش‌ها از SPI برای ارزیابی ویژگی‌های خشک‌سالی، مانند شدت و مدت، بر اساس انحراف از میانگین بلندمدت بارش استفاده کرده اند. محاسبات SPI الگوهای بارندگی غیریکنواخت، رویدادهای خشک‌سالی شدید و تغییر شدت شرایط خشک‌سالی را در طول زمان نشان می‌دهد. اهمیت SPI در مدیریت خطر خشک‌سالی و راهبردهای کاهش این پدیده است (بهاگت و همکاران ۲۰۲۲؛ انگداو و همکاران ۲۰۲۲؛ موهانتا و همکاران ۲۰۲۰؛ تسملیس و همکاران ۲۰۲۲). در استان سند، پاکستان، SPI برای نظارت بر خشک‌سالی از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج نشان داد مقیاس‌های طولانی‌تر مانند ۱۲ ماهه پایدارتر و برای کاربردهای کشاورزی مفیدتر بودند (خان و گادیوالا ۲۰۱۳). یک پژوهش در اردن SPI-12 را با استفاده از مدل CARMA اعمال کرد که اثربخشی آن را برای بررسی منابع آب منطقه‌ای نشان داد (سعاده و ابورمان ۲۰۱۷). در یونان، SPI-12 در شناسایی شرایط خشک‌سالی شدید و بسیار شدید در مناطق مختلف مؤثر بود (لیوادا و اسیماکوپولوس ۲۰۰۷). در پژوهشگران در جاوه مرکزی، اندونزی، از شاخص SPI-12 برای ارزیابی شدت خشکسالی استفاده کردند و رویدادهای خشک‌سالی قابل توجهی شناسایی کردند. این موضوع بر اهمیت SPI در راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیمی تأکید می‌کند (پرامودیا و اونیشی ۲۰۱۸). این شاخص در مقیاس ۱۲ ماهه یک ابزار قابل اعتماد و مفید برای نظارت و ارزیابی خشک‌سالی است که با کاربرد آن می‌توان بینش‌های ارزشمندی برای مناطق و گوناگون پیشنهاد داد. این شاخص در شناسایی شدت و روند خشک‌سالی مؤثر است (سعاده و ابورمان ۲۰۱۷).

شاخص بارش استانداردشده (SPI) ابزار ارزشمندی برای پایش و ارزیابی شرایط خشک‌سالی به ویژه در مناطق خشک است. با این حال، اثربخشی آن را می توان با استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تکمیل اندازه‌گیری‌های سنتی مبتنی بر بارش افزایش داد. اگرچه اطلاعات هواشناسی از ایستگاه‌های زمینی دقت خوبی دارند و در سراسر جهان مطلوب هستند، اما توزیع و تراکم ایستگاه‌های هواشناسی برای ثبت اطلاعات مکانی لازم، کافی نیستند (براون و همکاران ۲۰۰۸؛ دوتا و همکاران ۲۰۱۵). چنانچه توزیع مناسبی از ایستگاه های هواشناسی در سراسر منطقه وجود نداشته باشد، گسترۀ مکانی خشک‌سالی را نمی‌توان به‌درستی شناسایی کرد. در سال‌های گذشته، پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌دلیل مزایایی چون هزینه کمتر، پوشش گسترده و هم‌پوشانی، تکرار مداوم در جمع‌آوری داده‌ها و قابلیت اطمینان زیاد، به‌طور گسترده‌ای پذیرفته‌شده است (دوتا و همکاران ۲۰۱۵). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای محاسبه شاخص بارش استانداردشده (SPI) مزایای زیادی برای نظارت بر خشک‌سالی دارد و در پژوهش‌های پرشماری استفاده‌شده است. در پژوهشی از داده‌های ماهواره‌ای IMERG برای پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI در ۸۰۷ ایستگاه در چین استفاده شد. نتایج نشان دهندۀ تطابق زیاد میان اندازه‌های SPI مبتنی بر IMERG و اندازه‌های SPI مبتنی بر ایستگاه‌های زمینی برای پایش خشک‌سالی در اکثر مناطق چین (با ضریب همبستگی بیش از ۰/۸) بود (وی و همکاران ۲۰۲۰). لو و همکاران (۲۰۱۸) شاخص خشک‌سالی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه را با استفاده از چهار داده ماهواره‌ای (CMORPH RAW, CMORPH BLD version 1.0, TMPA 3B42RT و TMPA 3B42 version 7) در چین ارزیابی کردند. نتایج نشان داد SPI مبتنی بر ماهواره به‌رغم اینکه فقط بر اساس

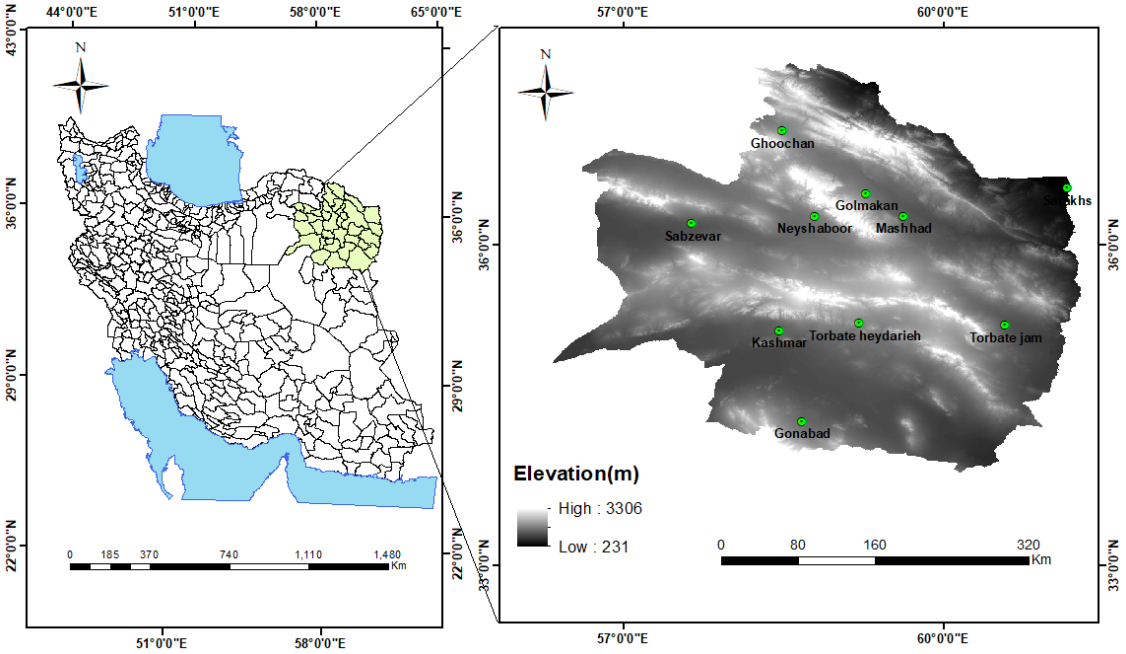
بارش است می‌تواند رویدادهای خشک‌سالی معمولی را در سراسر چین ثبت کند و برآورد SPI با استفاده از داده‌های داده‌های بارش ماهواره‌ای می‌تواند برای ارزیابی و پایش خشک‌سالی اعمال شود. در پژوهشی از داده‌های بارش GPM IMERG، TRMM و PERSIANN_CDR در دو منطقه در کره برای محاسبه SPI استفاده شد و آن را با داده‌های مشاهده‌ای زمینی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که داده‌های GPM IMERG می‌توانند به‌عنوان یک عامل پیش بینی‌کننده در مدل‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی استفاده شود و برای نظارت بر خشک‌سالی در زمان واقعی مناسب است (جانگ و همکاران ۲۰۱۷). در پژوهشی دیگر در آبخیز رود زرد چین سه داده بارش ماهواره‌ای بلندمدت (PERSIANN-CDR، CHIRPS و GPCC 8.0) برای نظارت بر خشک‌سالی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که عملکرد این داده‌ها در نظارت بر خشک‌سالی خوب بود و بهترین عملکرد مربوط به GPCC 8.0 بود (وی و همکاران ۲۰۱۹).

در پژوهشی در جنوب‌غرب ایران دقت داده‌های TRMM (3B42) و TRMM (3B43) برای برآورد SPI و نظارت بر خشک‌سالی بررسی شد. نتایج نشان داد که این داده‌ها می‌توانند رفتار فضایی و زمانی رویداد های خشک‌سالی را به‌خوبی ثبت کنند و 3B43 عملکرد بهتری در شناسایی خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت شدید داشت (منتظری و همکاران ۲۰۲۰). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای محاسبه SPI می‌تواند نظارت بر خشک سالی را بهبود بخشد و داده‌های دقیقی را برای ارزیابی و پیش‌بینی خشک‌سالی فراهم کند. این روش‌ها به ویژه در مناطق با کمبود داده‌های زمینی مفید هستند و می توانند به‌عنوان ابزارهای مؤثر در مدیریت منابع آب و کاهش اثرات خشک‌سالی استفاده شوند. در این پژوهش شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های همدید محاسبه شد و توانایی ۴ داده ماهواره‌ای بارشی (TRMM، GPM، PERSIANN و ERA5) برای محاسبه این شاخص در استان خراسان‌رضوی ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

استان خراسان‌رضوی در شمال‌شرقی ایران با مساحت کل ۱۱۷۲۰۰ کیلومتر مربع است و دامنه بلندی آن از ۲۳۳ متر تا ۳۳۰۵ متر است (شکل ۱). در دورهٔ آماری بررسی‌شده میانگین دمای سالانه در این منطقه ۱۵/۹°C و میانگین سالانهٔ بارش آن ۱۷۹ میلی‌متر بود. در این پژوهش، داده‌های ماهانه بارش در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۰ با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدید استان خراسان‌رضوی از سازمان هواشناسی (IRIMO) در ۱۰ ایستگاه تربت‌جام، تربت‌حیدریه، سبزوار، سرخس، قوچان، کاشمر، گلمکان، گناباد، مشهد و نیشابور در طول دوره آماری هر ایستگاه جمع‌آوری شد (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مطالعه‌شده در استان خراسان‌رضوی در شمال‌شرقی ایران.

Figure 1- Layout of the study area and spatial distribution of meteorological stations utilized in this study.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و تعداد سال‌های آماری استفاده‌شده در ایستگاه‌های همدید مطالعه‌شده.

Table 1- Weather station locations and period of meteorological observations.

Code	Station	Longitude	Latitude	Elevation (m)	Mean Precipitation (mm)
S1	Torbat-e Jam	60° 35′	35° 16′	950.4	131.18
S2	Torbat-e Heydarieh	59° 13′	35° 20′	1451	252.76
S3	Sabzevar	57° 39′	36° 12′	962	189.86
S4	Sarakhs	61° 10′	36° 32′	235	212.56
S5	Quchan	58° 30′	37° 04′	1287	317.39
S6	Kashmar	58° 28′	35° 16′	1110	183.84
S7	Golmakan	59° 17′	36° 29′	1176	209.22
S8	Gonabad	58° 41′	34° 21′	1056	128.82
S9	Mashhad	59° 38′	36° 14′	999.2	242.81
S10	Neyshabour	58° 48′	36° 16′	1213	206.13

روش پژوهش

داده‌های بارش ماهواره‌ای (TRMM 3B43)

مأموریت اندازه‌گیری باران گرمسیری (TRMM) یک ماهواره تحقیقاتی است که به‌طور مشترک به‌وسیلهٔ سازمان ملی هوانوردی و فضایی (ناسا) و آژانس اکتشافات هوافضای ژاپن (JAXA) توسعه یافت. این مجموعه داده، خروجی ترکیبی از چندین ماهواره مایکروویو است که با وضوح فضایی ۰/۲۵درجه میان عرض‌های جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی در دسترس است. این داده‌ها به‌عنوان شدت بارش (mm/hr) برای سال‌های ۱۹۹۹ تا اواخر ۲۰۱۹ در موتور جستجوگر گوگل‌ارث قابل‌دسترسی هستند. این داده ماهواره‌ای برآوردهای بارش ماهانه را فراهم می کند. این داده‌ها با دقت تفکیک مکانی ۲۷ کیلومتری از ترکیب مشاهده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های

زمینی به‌دست می‌آیند و شامل اطلاعات با وضوح زیاد و پوشش گسترده جغرافیایی هستند. داده TRMM 3B43 برای تحلیل‌های اقلیمی و آب‌شناختی بسیار مفید است و برای پژوهشگران این امکان را فراهم می‌کند که الگوهای بارش را با دقت بیشتری بررسی کنند. این داده به‌ویژه در مناطق با دسترسی محدود به داده‌های زمینی کاربرد دارد و می‌تواند به بهبود دقت مدل‌های پیش‌بینی بارش و نظارت بر خشک‌سالی کمک کند. داده‌های TRMM3B43 معمولاً برای تحلیل‌های بلندمدت و مقایسه با داده‌های تاریخی استفاده می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان منبع قابل اعتمادی برای بررسی‌های علمی در زمینه‌های گوناگون اقلیمی و محیط‌زیستی استفاده شوند (وانگ و همکاران ۲۰۱۹؛ بانرجی و همکاران ۲۰۲۰).

داده‌های GPM (اندازه‌گیری ماهانه بارش‌های جهانی)

مأموریت بین‌المللی اندازه‌گیری بارش جهانی (GPM) ماهواره‌ای است که به‌منظور ارائه اندازه‌گیری‌های نسل جدیدی از بارش برف و باران هر سه ساعت یک‌بار طراحی‌شده است. هدف اصلی این مأموریت ارائه برآورد های دقیق از بارش در سطح جهانی است. این هدف با روش یکپارچه بازیابی چند ماهواره‌ای برای GPM (IMERG) که به‌وسیلهٔ مجموعه ماهواره‌های GPM استفاده می‌شود، تحقق‌یافته است. این مجموعه بخش گسترده‌ای از سطح زمین را پوشش می‌دهد (هافمن و همکاران ۲۰۱۹؛ پرکاش ۲۰۱۹). هدف دستورالعمل IMERG واسنجی، ترکیب و درون‌یابی برآوردهای بارش ماهواره‌ای مایکروویو، برآوردهای ماهواره‌ای مادون‌قرمز (IR) واسنجی‌شده با مایکروویو، تحلیل‌های سنجش باران سطحی و همچنین دیگر برآوردهای بارش موقتی و مکانی از دوره TRMM و GPM در سطح جهان است. این داده‌ها به‌عنوان شدت بارش (mm/hr) با دقت تفکیک مکانی ۱۱ کیلومتری برای سال‌های ۲۰۰۰ تا اواخر ۲۰۲۱ در موتور جستجوگر گوگل‌ارث قابل‌دسترسی هستند. این مجموعه داده منبع ارزشمندی برای بررسی و پایش الگوهای بارش جهانی در طول زمان است.

داده‌های PERSIANN-CDR

PERSIANN-CDR یک مجموعه داده است که برای ارزیابی بارش با استفاده از اطلاعات دریافتی از ماهواره ها توسعه‌داده شده است. نام این داده از عبارت " Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record" نشأت می گیرد و از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده‌شده تا از داده‌های ماهواره‌ای مختلف، اطلاعات دقیق و مستندی از بارش‌ها در سطح جهانی استخراج شود. یک مجموعه داده جهانی بارش روزانه است که به‌وسیلهٔ NOAA NCDC و مرکز هواشناسی آب‌شناختی و سنجش از راه دور (CHRS) در دانشگاه کالیفرنیا، ایروین توسعه‌یافته است. در این داده بارندگی روزانه بر حسب میلی‌متر (mm) از سال ۱۹۸۳ تاکنون با دقت تفکیک مکانی ۲۷ کیلومتری در موتور جستجوگر گوگل‌ارث قابل‌دسترسی است و منطقه‌ای را از ۶۰ درجه جنوبی تا ۶۰ درجه شمالی پوشش می‌دهد و به‌عنوان یک منبع ارزشمند برای بررسی الگوهای جهانی بارش و بررسی‌های مرتبط با اقلیم است. این مجموعه داده‌ها به‌وسیلهٔ سازمان‌ها و پژوهشگران در زمینه‌های مختلف مانند علوم زمین، مدیریت منابع آب، پیش‌بینی سیل و خشک‌سالی، ارزیابی خطرهای مربوط به بارش، مدیریت بحران، و برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار استفاده می شود. از ویژگی‌های آن می‌توان به دقت زیاد و پوشش جهانی آن اشاره کرد که با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و داده‌های ماهواره‌ای به‌دست می‌آید. این داده‌ها می‌تواند به‌عنوان یک منبع مهم برای پژوهش‌های آب و هوا، تغییرات اقلیمی و مدیریت منابع آب در سطح جهانی استفاده شود (سروشیان و همکاران ۲۰۰۰).

داده‌های ERA5 (ECMWF Re-Analysis version 5)

نسل پنجم مجموعه داده‌های تحلیل مجدد اقلیمی ERA5 است که به‌وسیلهٔ مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های هواشناسی میان‌مدت (ECMWF) تولیدشده است. این مجموعه داده‌ها، داده‌های مدل را با داده‌های مشاهده ای از سراسر جهان ترکیب می‌کند تا یک مجموعه داده جامع و یکپارچه تولید کند. هدف ERA5 ارائه داده

های ساعتی برای شاخص‌های پرشمار شرایط جوی، سطح زمین و دریا با وضوح افقی تقریبی ۲۷ کیلومتر است. این مجموعه داده به‌دلیل دقت بیشتر، جایگزین مجموعه داده‌های تحلیل مجدد[1]شده است. ERA5 به طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی‌های هواشناسی و بررسی‌های اقلیمی استفاده می‌شود. در این داده مجموع بارندگی ماهانه بر حسب متر (m) و از سال ۱۹۷۹ تا اواسط ۲۰۲۰ با دقت تفکیک مکانی ۲۷ کیلومتری در موتور جستجوگر گوگل‌ارث قابل‌دسترسی است و برای پژوهشگران و دانشمندان این امکان را فراهم می‌کند تا به‌راحتی به داده‌های زمانی و مکانی دقیق برای تحلیل های خود دست یابند (مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا ۲۰۱۸).

شاخص بارش استانداردشده (SPI)

شاخص بارش استانداردشده (SPI) به‌وسیلهٔ مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳، ۱۹۹۵) برای پیشنهاد یک معیار بدون تغییر زمانی و مکانی از کاهش (یا افزایش) بارش برای هر بازه تجمعی تعیین شد (نیومن و همکاران ۲۰۱۲). محاسبه این شاخص بر اساس داده‌های تاریخی بارش انجام می‌شود. SPI به‌منظور نظارت بر گسترهٔ زمانی-مکانی و شدت رویداد خشک‌سالی هواشناسی برآورد می‌شود. توزیع گاما معمولاً به‌شکل رابطهٔ ۱ تعریف می شود:

$$g(x) = \frac{x^{\propto-1}.e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha}.\Gamma(\alpha)} \quad for\ x > 0 \qquad (۱)$$

X: اندازهٔ بارش بر حسب میلی‌متر، $\alpha > 0$ سنجهٔ شکل، $\beta > 0$ سنجهٔ مقیاس و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است.

این شاخص برای اندازه‌گیری خشک‌سالی در بازه‌های زمانی ۴۸، ۳۶، ۲۴، ۱۲، ۶ و ۳ ماه به‌کار می‌رود. بنابراین، محاسبه SPI شامل برازش یک تابع چگالی احتمال گاما به یک سری زمانی از مجموع بارش‌های ماهانه برای یک ایستگاه می‌باشد. سپس، سنجه‌های به‌دست آمده برای یافتن احتمال رخداد یک رویداد بارشی خاص در یک بازه زمانی معین استفاده می‌شوند. سپس، این احتمال به متغیر تصادفی بهنجار استاندارد Z تبدیل می‌شود که همان اندازه شاخص SPI است. به طور مفهومی، SPI برای یک بازه زمانی معین، اختلاف بارش از میانگین تقسیم بر انحراف معیار است. هنگامی یک رویداد را به‌عنوان خشک‌سالی تعریف می‌کنند که SPI به ۰/۱ - یا کمتر برسد. آغاز این خشک‌سالی به عنوان دوره‌ای تعریف می‌شود که در آن SPI ابتدا منفی است. پایان خشک‌سالی هنگامی رخ می‌دهد که SPI به اندازه مثبت برسد. طبقه‌بندی خشک‌سالی SPI به‌وسیلهٔ مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) برای تعیین شدت خشک‌سالی‌های ناشی از SPI در جدول ۲ نشان‌داده شده است. در این پژوهش ابتدا با برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت در موتور جستجوگر گوگل‌ارث داده‌های بارشی ۴ داده ماهواره‌ای (TRMM, PERSIANN-CDR, GPM-IMERG, ERA5) دریافت شد.

سپس، اندازهٔ شاخص SPI-12 با استفاده از بسته نرم افزار Drinc برای داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده های ماهواره‌ای محاسبه شد. پس از آن اندازه‌های این شاخص در طول دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۰۰) در ۱۰ ایستگاه هواشناسی استان خراسان‌رضوی ارزیابی شد. از آنجایی که طول دوره آماری در هر کدام از ایستگاه‌ها متفاوت بود، برای مقایسه شاخص SPI-12 محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه های زمینی در کل استان خراسان‌رضوی، طول دوره آماری مشترک میان همهٔ ایستگاه‌ها (۲۰۲۰-۲۰۰۰) انتخاب شد. پس از آن به‌منظور بررسی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای در استان خراسان‌رضوی تجزیه و تحلیل‌های آماری میان داده‌های هواشناسی و داده‌های بارش ماهواره‌ای در دوره مشترک آماری در مقیاس ماهانه انجام شد. سپس، با استفاده از میانگین داده‌های بارندگی در کل استان با استفاده از ایستگاه‌های زمینی و داده‌های بارش ماهواره‌ای، شاخص SPI-12 در کل استان محاسبه شد و نتایج با استفاده از سنجه‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند.

1- ERA Interim

جدول ۲- طبقه‌بندی خشک‌سالی و ترسالی بر اساس اندازه‌های SPI (مک کی و همکاران ۱۹۹۳).

Table 2- Classification of drought and wetness based on SPI values.

Climate	Value of SPI
Extremely wet	+2.0 and more
Very wet	1.5 to 1.99
Moderately wet	1.0 to 1.49
Near normal	-0.99 to 0.99
Moderately dry	-1.0 to -1.49
Severely dry	-1.8 to -1.99
Extremely dry	-2 and less

تجزیه و تحلیل‌های آماری

با استفاده از شاخص‌های آماری چون ضریب همبستگی (CC)، ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص ناش-ساتکلیف (NSE) و انحراف معیار نسبی (RBIAS)، توان پیش‌بینی شاخص SPI با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (SPPs) در مقایسه با داده‌های بارش زمینی ارزیابی شد (جدول ۳). افزون بر این، سنجهٔ آماری دیگری به نام احتمال برآورد (POE) برای ارزیابی رخداد SPI در داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد.

جدول ۳- شاخص‌های آماری استفاده‌شده به‌منظور ارزیابی شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای.

Table 3- The statistical indices of SPI estimates by the satellite products (SPPs) against rain-gauge data.

Statistic indices	Equations[a]	Optimal value
Correlation coefficient (CC)	$CC = \frac{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(f_n - \bar{f})(r_n - \bar{r})}{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(f_n - \bar{f})^2}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(r_n - \bar{r})^2}}$	1
Relative bias (RBIAS)	$RBIAS = \frac{\sum_{n=1}^{N}(f_n - r_n)}{\sum_{n=1}^{N} r_n}$	0
Root-mean-square error (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(f_n - r_n)^2}$	0
Nash–Sutcliffe efficiency (NSE)	$NSE = 1 - \frac{\sum_{n=1}^{N}(r_n - f_n)^2}{\sum_{n=1}^{N}(r_n - \bar{r})^2}$	1
Probability of Estimation (POE)	$POD = \frac{H}{H + M}$	1

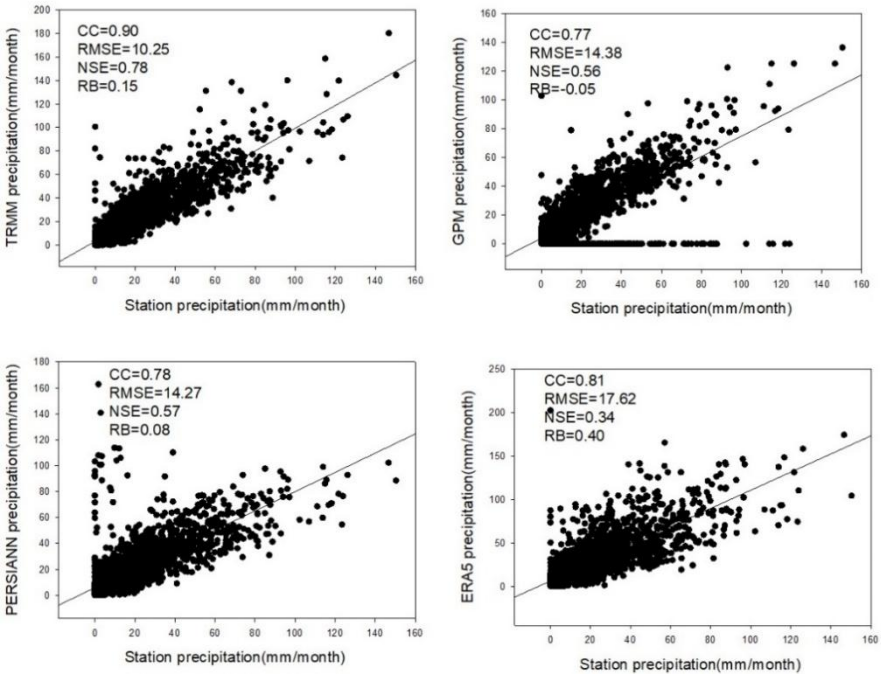
متغیرها: n، تعداد داده‌ها، f_n، اندازه‌های برآورد شاخص SPI با داده‌های بارش ماهواره‌ای، r_n، اندازه‌های برآورد شاخص SPI با داده‌های زمینی، H، تعداد ماه‌هایی که شاخص‌های SPI به‌وسیلهٔ تولیدات ماهواره‌ای به‌درستی برآورد شدند، M، تعداد ماه‌هایی که شاخص SPI به‌وسیلهٔ باران‌سنج‌ها و داده‌های ماهواره‌ای متفاوت برآورد شدند.

Variables: n, number of data; f_n, representing satellite SPI estimate; r_n, representing gauged SPI estimate; H means the number of SPI index correctly estimated by respective satellite products; M means the number of the SPI index estimated by rain gauges, but not correctly estimated by respective satellite products.

نتایج و بحث

ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه

ابتدا در دورهٔ آماری مطالعه‌شده، نمودار میانگین بارندگی ماهانه در ۱۰ ایستگاه استان خراسان‌رضوی و داده‌های بارش ماهواره‌ای برای این ایستگاه‌ها رسم شد (شکل ۲). بر اساس شکل۲، میان همهٔ داده‌های ماهواره ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه همبستگی زیادی (CC>0.77) وجود داشت. بیشترین اندازهٔ ضریب همبستگی مربوط به داده‌های ماهواره‌ای TRMM (با ضریب همبستگی ۰/۹۰) بود. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که در استان خراسان‌رضوی عملکرد داده‌های بارش ماهواره‌ای برای برآورد اندازهٔ بارش ماهانه قابل‌قبول بود. در پژوهشی شیرمحمدی و اکبری (۲۰۲۰) داده‌های بارندگی روزانه از داده‌های ماهواره‌ای (TRMM-3B42 V7) و (GPM) را در مقایسه با داده‌های ۱۳ ایستگاه در استان خراسان‌رضوی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که همبستگی میان داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی با داده‌های ایستگاه‌های زمینی خوب بود. داده‌های TRMM در مقایسه با GPM عملکرد بهتری داشتند و به‌ویژه در پاییز دقت برآورد بارندگی بیشتر بود. همچنین، داده‌های TRMM به‌عنوان منبعی قابل اعتماد برای مدل‌سازی آب‌شناختی مبتنی بر داده‌های روزانه در شمال‌شرق ایران شناسایی شد. البته بر پایهٔ نظر لو و همکاران (۲۰۱۸) دقت داده‌های داده‌های بارش لزوماً تأثیر یکسانی بر دقت برآوردهای SPI ندارد، زیرا SPI با استفاده از احتمال اندازه معینی از بارش محاسبه می‌شود. بر این اساس، در این پژوهش شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی ارزیابی شد.



شکل ۲- مقایسهٔ اندازه داده‌های ماهواره‌ای ماهانهٔ بارش و ایستگاه‌های زمینی در استان خراسان‌رضوی.

Figure 2- Comparisons of the monthly precipitation values from satellite-based data with rain gauge measurements in Khorasan Razavi province.

ارزیابی شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره ای و داده‌های تجمیعی ایستگاه‌های زمینی

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری مقایسهٔ شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی در کل استان خراسان‌رضوی در جدول ۴ آورده‌شده است. بر اساس جدول ۴، داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM با ضریب همبستگی ۰/۸، ریشهٔ میانگین مربعات خطای ۰/۶۱، شاخص ناشی-ساتکلیف ۰/۵۵ شاخص SPI-12 را با دقت قابل‌قبولی در کل استان خراسان‌رضوی برآورد کرد. همچنین، در طول دورهٔ آماری وضعیت خشک سالی منطقه مطالعه‌شده با استفاده از این داده‌ها با دقت ۷۰٪ برآورد شد. این یافته بیانگر آن است که بارش فقط دادهٔ ورودی برای محاسبه شاخص SPI است و خطای داده‌های بارش ماهواره‌ای باعث زیاد شدن خطای محاسبهٔ این شاخص می‌شود.

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های ماهواره‌ای (SPPs) برای برآورد SPI در مقیاس ۱۲ ماهه در استان خراسان‌رضوی.

Table 4 - Statistical analysis results of Satellite Precipitation Products (SPPs) for estimating the SPI-12 in the Khorasan Razavi province.

Satellite products	Statistic indices				
	Correlation coefficient (CC)	Relative bias (RBIAS)	Root-mean-square error (RMSE)	Nash–Sutcliffe efficiency (NSE)	Probability of Estimation (POE)
TRMM	0.80	-1.90	0.61	0.55	0.70
GPM	0.76	-0.39	0.66	0.47	0.67
PERSIANN	0.68	-1.80	0.77	0.27	0.67
ERA5	0.76	0.04	0.69	0.42	0.66

فراوانی خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارش ماهواره ای و ایستگاه‌های زمینی در جدول ۵ آورده‌شده است. بر اساس نتایج این جدول، در حالت تجمیعی داده‌های TRMM مشابه داده‌های ایستگاه‌های زمینی فراوانی خشک‌سالی را ۱۵٪ برآورد کردند در حالی که دیگر داده‌های ماهواره‌ای فراوانی خشک‌سالی را بیشتر از داده‌های ایستگاه‌های زمینی برآورد کردند. با مقایسهٔ فراوانی خشک‌سالی به نظر می‌رسد داده‌های ماهواره TRMM بهتر از دیگر داده‌های ماهواره‌ای خشک‌سالی را در کل استان خراسان‌رضوی برآورد کرد.

جدول ۵- فراوانی خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در استان خراسان‌رضوی.

Table 5 - Frequency of Drought Using Satellite Precipitation Data and Ground Station in the Khorasan Razavi Province.

Station/Satellite products	Number of Droughts	Total Records	Drought Frequency (%)
Station	29	190	15
TRMM	28	190	15
GPM	44	190	23
PERSIANN	31	190	16
ERA5	39	190	21

ارزیابی منطقه‌ای شاخص SPI محاسبه‌شده با داده های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی مطالعه‌شده

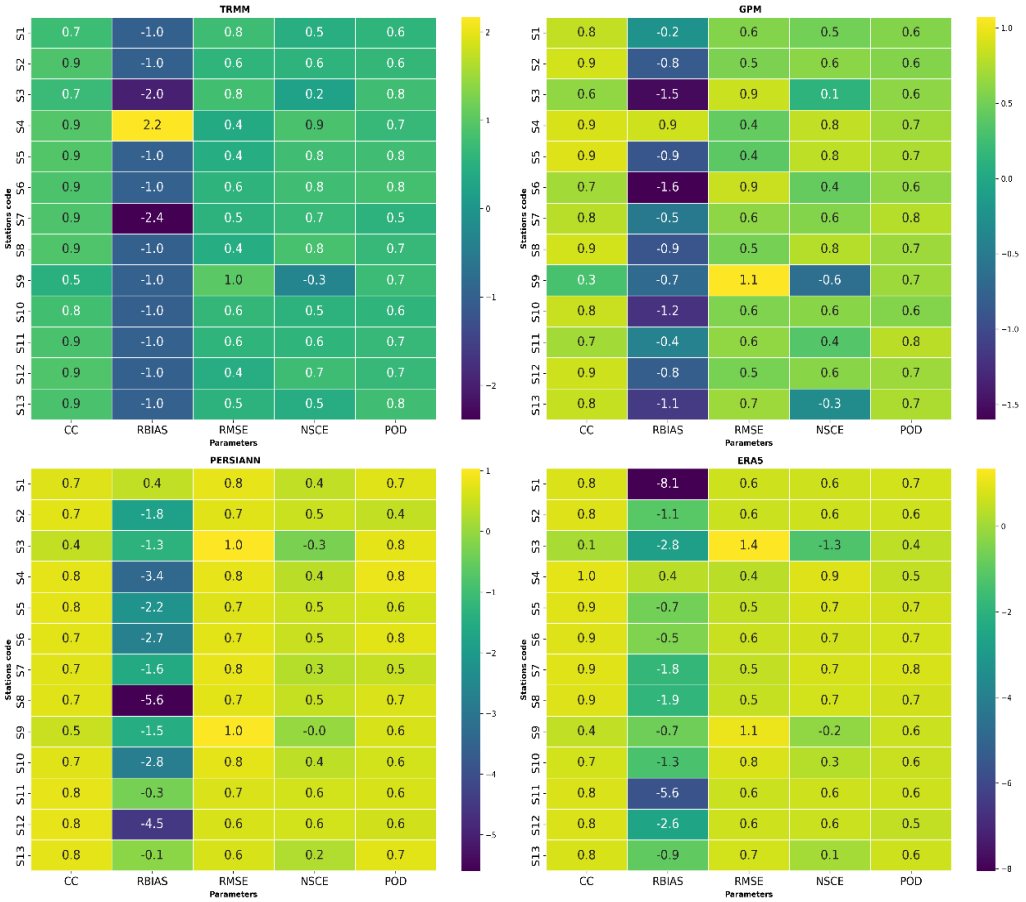
نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری مقایسهٔ دقت شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی در شکل ۳ نشان‌داده شده است. نتایج مقایسه داده‌های TRMM با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنهٔ ۰/۹۳ -۰/۴۱ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه مشهد و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در دامنهٔ ۱/۰۵-۰/۴۱ متغیر بود که کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه نیشابور و بیشترین اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنهٔ ۰/۸۵-۰/۵۷- متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه قوچان و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنهٔ ۰/۸۴-۰/۵۴ متغیر بود. بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه سرخس و کمترین آن در ایستگاه گلمکان مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همهٔ مناطق مطالعه‌شده به‌جز ایستگاه سرخس این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد.

نتایج مقایسه داده‌های GPM با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنهٔ ۰/۹۳ -۰/۲۹ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه سبزوار و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در دامنهٔ ۱/۰۷-۰/۴۰ متغیر بود که کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه سبزوار و بیشترین اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنهٔ ۰/۸-۰/۶۴- متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه سبزوار و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنهٔ ۰/۷۹-۰/۵۸ متغیر بود. بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه گناباد و کمترین آن در ایستگاه گلمکان مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همهٔ مناطق مطالعه‌شده این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد.

نتایج مقایسه داده‌های PERSIANN با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنهٔ ۰/۹۰ -۰/۲۲ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه گلمکان و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در دامنهٔ ۱/۱۴-۰/۴۲ متغیر بود که کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه گلمکان و بیشترین اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنهٔ ۰/۷۷-۰/۸۷- متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه گلمکان و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنهٔ ۰/۷۹-۰/۵۳ متغیر بود بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه سرخس و کمترین آن در ایستگاه تربت‌حیدریه مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همهٔ مناطق مطالعه‌شده به‌جز ایستگاه سرخس و قوچان این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد.

نتایج مقایسه داده‌های ERA5 با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنهٔ ۰/۹۳ -۰/۱۲ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه قوچان و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در دامنهٔ ۱/۳۲-۰/۴۳ متغیر بود که کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه قوچان و بیشترین اندازه‌های ریشهٔ میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنهٔ ۰/۸۴ -۱/۴۹- متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه قوچان و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنهٔ ۰/۷۴-۰/۵۳ متغیر بود بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه‌های سرخس و قوچان و کمترین آن در ایستگاه کاشمر

مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همهٔ مناطق مطالعه‌شده به‌جز ایستگاه تربت‌جام و گناباد این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد. دلایل گوناگونی برای این یافته وجود دارد که می‌توان به تفاوت در دقت و پوشش مکانی داده‌ها و یا تفاوت در حساسیت ابزارهای سنجش اشاره کرد. با این حال، نتایج تحلیل‌های انجام‌شده نشان داد که داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی هر دو ابزارهای مهم و مکملی برای پایش و ارزیابی خشک‌سالی در استان خراسان‌رضوی شناسایی شد. سپس، با مقایسهٔ نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری در مناطق مطالعه‌شده و در این داده‌های ماهواره‌ای، این داده‌ها در هر منطقه رتبه بندی شدند. به این ترتیب که با مقایسه سنجه‌های آماری به‌دست‌آمده در هر کدام از ایستگاه‌ها داده‌های ماهواره‌ای که ضریب همبستگی، ضریب ناش-ساتکلیف و احتمال برآورد بیشتر و ریشهٔ میانگین مربعات خطا کمتری را نشان دادند در رتبهٔ ۱ و بقیه ماهواره‌ها در رتبهٔ بعدی قرار گرفتند. نتایج رتبه‌بندی در جدول ۶ نشان‌داده شده است. نتایج نشان داد که در پیش‌بینی شاخص خشک‌سالی SPI-12 دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد، نیشابور و کاشمر، دقت داده‌های ماهواره‌ای GPM در ایستگاه سبزوار، دقت داده‌های ماهواره‌ای ERA5 در ایستگاه‌های تربت‌جام، سرخس و گناباد و دقت داده‌های ماهواره‌ای PERSIANN در ایستگاه گلمکان مناسب بود. منتظری و همکاران (۲۰۲۰) نیز در جنوب‌غرب ایران دریافتند که می‌توان از داده‌های بارشی TRMM با دقت قابل‌قبولی در تعیین شاخص خشک‌سالی SPI در این مناطق استفاده کرد.



شکل ۳- مقایسهٔ دقت شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی.

Figure 3- Comparison of the accuracy of SPI index calculated with satellite data and ground station and data.

در برخی مناطق، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل های بارش جایگزین منجر به بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های آب‌شناختی شده است. در این راستا، نتایج پژوهشی در منطقهٔ آفریقای‌شرقی نشان داد که می‌توان با داده‌های بارش ماهواره‌ای به‌طور مؤثری خشک‌سالی ها را شناسایی و تحلیل کرد (آگوتو و همکاران ۲۰۱۷). در مناطقی که پوشش ایستگاه هواشناسی محدود است، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و دیگر داده‌های بارندگی جایگزین می‌تواند به پر کردن این خلاها کمک کند. این داده‌ها با پوشش گسترده‌تر و به‌روزتر، اطلاعات دقیقی فراهم می‌کنند که می‌تواند برای تحلیل‌های آب و هوایی و آب‌شناختی بسیار مفید باشد.

جدول ۶- رتبه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای (SPPs) برای برآورد SPI- 12 ماهه در مناطق مختلف.
Table 6- Ranking of satellite products (SPPs) for 12-month SPI estimation in different regions.

Study Area	Ranking		
	1	2	3
Torbat-e Jam	ERA5	GPM	TRMM
Torbat-e Heydarieh	TRMM	GPM	ERA5
Sabzevar	GPM	TRMM	ERA5
Sarakhs	ERA5	TRMM	GPM
Quchan	TRMM	ERA5	GPM
Kashmar	TRMM	GPM	PERSIANN
Golmakan	PERSIANN	GPM	ERA5
Gonabad	ERA5	TRMM	GPM
Mashhad	TRMM	GPM	PERSIANN
Neyshabour	TRMM	GPM	PERSIANN
Khorasan Razavi	TRMM	GPM	ERA5

مقایسهٔ شاخص SPI با داده‌های تجمیعی و داده‌های نقطه‌ای در سطح استان

نتایج تحلیل‌های آماری داده‌های نقطه به نقطه در مقایسه با داده‌های تجمیعی در سطح استان بهتر بود. در بررسی تجمیعی، بیشترین ضریب همبستگی (CC=0.8)، بیشترین شاخص ناش-ساتکلیف (NSC=0.55)، کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE=0.61) و بیشترین احتمال برآورد (POD=0.70) از تجمیع داده‌های ماهواره‌ای TRMM به‌دست آمد. به نظر می‌رسد ایستگاه‌های تکی ممکن است به‌دلیل شرایط خاص محلی مانند وجود منابع آب محلی، پوشش گیاهی ویژه یا دخالت‌های انسانی، داده هایی متفاوت از کل استان ارائه دهند. ازاین‌رو، با تجمیع داده‌ها در سطح استان، تأثیر این ناهنجاری‌های محلی افزایش یافت و نتایج به‌دست‌آمده به‌دلیل کاهش دقت نتایج و افزایش تأثیر ناهنجاری‌های محلی، به‌خوبی نمایانگر وضعیت واقعی اقلیمی استان نبود. می‌توان نتیجه گرفت که اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای نامبرده در تعیین شاخص خشک‌سالی ۱۲ ماهه باید به شکل منطقه‌ای انجام شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، دقت و قابلیت کاربرد داده‌های بارش بلندمدت TRMM، GPM، PERSIANN-CDR و ERA5 برای پایش خشک‌سالی در مقیاس ۱۲ ماهه، بر اساس داده‌های ۱۰ ایستگاه همدید برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۰ به‌شکل جداگانه و تجمیعی در سطح استان خراسان‌رضوی به‌طور جامع ارزیابی شد. در این پژوهش از پنج معیار آماری و دسته‌بندی برای ارزیابی و مقایسه داده‌های TRMM، GPM، PERSIANN-CDR و ERA5 با داده‌های ایستگاه‌های همدید در استان خراسان‌رضوی استفاده شد. بر اساس ارزیابی دقت SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه، عملکرد داده‌های بارش به‌دست آمده از ماهواره در مناطق مطالعه‌شده خوب بود. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری جداگانهٔ داده‌ها در هر ایستگاه در مقایسه با بررسی

تجمیعی ایستگاه‌ها بهتر بود. در بررسی نقطه‌ای ایستگاه ها، دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد، نیشابور و کاشمر، دقت داده‌های ماهواره‌ای GPM در ایستگاه سبزوار، دقت داده‌های ماهواره‌ای ERA5 در ایستگاه‌های تربت‌جام، سرخس و گناباد و دقت داده‌های ماهواره‌ای PERSIANN در ایستگاه گلمکان مناسب بودند و برای مدیریت منابع آب و پایش خشک‌سالی می‌توان از آنها بهره برد. پیشنهاد می‌شود، با توجه به‌دقت مناسب داده‌های ماهواره‌ای، این داده‌ها به‌عنوان یک مجموعه داده بلندمدت با ارزش برای بررسی خشک‌سالی‌ها در مناطق مطالعه‌شده استان خراسان‌رضوی به‌کار برده شوند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافعی در نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارد.

دسترسی به داده‌ها

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

مشارکت نویسندگان

نویسندهٔ مسئول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم افزاری/آماری، نگارش مقاله.

فهرست منابع

Agutu NO, Awange JL, Zerihun A, Ndehedehe CE, Kuhn M, Fukuda Y. 2017. Assessing multi-satellite remote sensing, reanalysis, and land surface models' products in characterizing agricultural drought in East Africa. Remote Sensing of Environment. 194:287–302. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.041

Banerjee A, Chen R, Meadows ME, Singh RB, Mal S, Sengupta D. 2020. An analysis of long-term rainfall trends and variability in the uttarakhand himalaya using google earth engine. Remote Sensing. 12(4),709. https://doi.org/10.3390/rs12040709

Belayneh A, Adamowski J, Khalil B, Ozga-Zielinski B. 2014. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural networks and wavelet support vector regression models. Journal of Hydrology. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.052

Bhagat AD, Gorantiwar SD, Malunjkar VS. 2022. Assessment of Meteorological Drought using Standard Precipitation Index (SPI) in Western Maharashtra, India. Journal of Agricultural Science and Technology. 47(02): 152–156. https://doi.org/ 10.56228/JART. 2022.47205

Brown JF, Wardlow BD, Tadesse T, Hayes MJ, Reed BC. 2008. The vegetation drought response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. GIScience and Remote Sensing. 45(1): 16–46. https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.1.16

Dutta D, Kundu A, Patel NR. 2013. Predicting agricultural drought in eastern Rajasthan of India using NDVI and standardized precipitation index. Geocarto International. https://doi.org/10.1080/10106049.2012.679975

Dutta D, Kundu A, Patel NR, Saha SK, Siddiqui AR. 2015. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 18(1): 53–63. https://doi.org/10.1016/j. ejrs. 2015.03.006.

ECMWF. 2018. Annual Report 2017. Reading: ECMWF ECMWF Annual Report. https://www.ecmwf. int/node/18309

Engdaw G, Legesse A, Mohammed Y, Likissa D. 2022. Analysis of meteorological drought using Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDIst) at Bilate Basin, Southern Ethiopia. [accessed 2024 Jun 15]. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1664681/v1

Feller U. 2016. Drought stress and carbon assimilation in a warming climate: Reversible and irreversible impacts. Journal Plant Physiology. Sep20; 203:84-94. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.04.002

Guttman NB. 1998. Comparing the Palmer Drought INDEX and the Standardized Precipitaton INDEX1. Journal of the American Water Resources Association. 34(1): 113–121. https://doi:10.1111/j. 1752-1688.1998. tb05964. x

Huffman, GJ. Stocker EF, Bolvin DT, Nelkin EJ, Jackson T. 2019. GPM IMERG final precipitation L3 half hourly 0.1 degree × 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard earth sciences data and information services center (GESDISC), https://doi.org/10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06

Jang S-M, Rhee J, Yoon S, Lee T, Park K. 2017. Evaluation of GPM IMERG Applicability Using SPI based Satellite Precipitation. J Korean Soc Agric Eng. 59(3): 29–39. https://doi.org/10.5389/KSAE. 2017.59.3.029.

Khan MA, Gadiwala MS. 2013. A Study of Drought over Sindh (Pakistan) Using Standardized Precipitation Index (SPI) 1951 to 2010. Pakistan Journal of Meteorology. 9(18): 15–22.

Khosravi H, Haydari E, Shekoohizadegan S, Zareie S. 2017. Assessment the Effect of Drought on Vegetation in Desert Area using Landsat Data. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 20; s3-s12. https://doi.org/10.1016/j. ejrs. 2016.11.007

Livada I, Assimakopoulos VD. 2007. Spatial and temporal analysis of drought in greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). Theoretical and Applied Climatology. 89(3–4): 143–153. https://doi.org/10.1007/s00704-005-0227-z

Lu J, Jia L, Menenti M, Yan Y, Zheng C, Zhou J. 2018. Performance of the Standardized Precipitation Index Based on the TMPA and CMORPH Precipitation Products for Drought Monitoring in China. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 11(5): 1387–1396. https://doi.org/10.1109/JSTARS. 2018.2810163.

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Times Scales. American Meteorological Society. 9th Conference on Applied Climatology, 15-22 Janvier, Dallas. pp. 233-236.

McKee TB, Nolan J, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprint of the Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society.

Mishra AK, Singh VP. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology. 391(1): 202–216. https://doi.org/10.1016/j. jhydrol. 2010.07.012.

Mohanta DR, Soren J, Sarangi SK, Sahu S. 2020. Meteorological drought trend analysis by standardized precipitation index (SPI) and reconnaissance drought index (RDI): A case study of Gajapati District. International Journal of Chemical Studies. 8(3):1741–1746. https://doi.org/10.22271/chemi. 2020. v8. i3x. 9448

Montandon L, Small E. 2008. The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. Remote Sens Environmental Remote Sensing and Environment. 112 p. https://doi.org/10.1016/j. rse. 2007.09.007

Montazeri M, Kiany M, Masoodian S. 2020. Evaluation of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA v7) in drought monitoring over southwest Iran. Climatic Research. 82:55–73. https://doi.org/10.3354/cr01622

Naresh Kumar M, Murthy CS, Sesha Sai MVR, Roy PS. 2009. On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment. Meteorol Appl. 16(3): 381–389 https://doi.org/10.1002/met. 136

Naumann G, Barbosa P, Carrao H, Singleton A, Vogt J. 2012. Monitoring drought conditions and their uncertainties in Africa using TRMM data. Journal of Applied Meteorology and Climatology.51(10). https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0113.1

Obasi GOP. 1994. WMO's role in the international decade for natural disaster reduction. Bulletin of the American Meteorological Society. 75(9): 1655–1662. https://doi.org/10.1175/1520-0477(1994)075<1655: WRITID>2.0. CO; 2.

Patel NR, Chopra P, Dadhwal VK. 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. Meteorological Applications. 14(4):329–336. https://doi.org/10.1002/met. 33

Prakash S. 2019. Performance assessment of CHIRPS, MSWEP, SM2RAIN-CCI, and TMPA precipitation products across India. J Hydrol. https://doi.org/10.1016/j. jhydrol. 2019.01.036

Pramudya Y, Onishi T. 2018. Assessment of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Tegal City, Central Java, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.129:012019 https://doi.org/10.1088/1755-315/129/1/012019

Saada N, Abu-Romman A. 2017. Multi-site Modeling and Simulation of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Jordan. Journal of Hydrology: Regional Studies. 14:83–91. https://doi.org/10.1016/j. ejrh. 2017.11.002

Shahabfar A, Ghulam A, Eitzinger J. 2012. Drought monitoring in Iran using the

Google Earth Engine cloud platform. Remote Sensing. https://doi.org/10.3390/rs11030313

Wei J, Jiang M, Ren J, Yuan J, Zhang. 2019. Performance of two long-term Satellite-Based and GPCC 8.0 precipitation products for drought monitoring over the Yellow River Basin in China. Sustainability. 11(18): 4969. https://doi.org/10.3390/su11184969

Wei L, Jiang S, Ren L, Zhang L, Wang M, Duan Z. 2020. Preliminary utility of the retrospective IMERG precipitation product for large-scale drought monitoring over Mainland China. Remote Sensing. https://doi.org/10.3390/RS12182993

Wilhite DA, Glantz MH. 1987. Understanding the drought phenomenon. The role of definitions. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water international. 10(3): 111-120.

World Meteorological Organization. 2012. Standardized Precipitation Index user guide (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). Geneva: (WMO-No. 1090).

Wu H, Svoboda MD, Hayes MJ, Wilhite DA, Wen F. 2007. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. International Journal of Climatology. 27(1): 65–79. https://doi.org/10.1002/joc. 1371.

Zhang A, Jia G. 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. Remote Sensing of Environment. 134:12–23. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.023

perpendicular drought indices. Int J Appl Earth Obs Geoinformation. 18:119–127. https://doi.org/10.1016/j. jag. 2012.01.011.

Shirmohammadi-Aliakbarkhani Z, Akbari A. 2020. Ground validation of diurnal TRMM 3B42 V7 and GPM precipitation products over the northeast of Iran. Theoretical and Applied Climatology. 142:1413–1423. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03392-0

Sorooshian S, Hsu K-L, Gao X, Gupta HV, Imam B, Braithwaite D. 2000. Evaluation of PERSIANN System Satellite–Based Estimates of Tropical Rainfall. Bulletin of the American Meteorological Society. 81(9):2035–2046. https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<2035: EOPSSE>2.3. CO; 2

Topçu E, Seckin N. 2016. Drought analysis of the Seyhan Basin by using standardized precipitation index (SPI) and L-moments. Journal of Agricultural Sciences, 22(2),196-215. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001381.

Tsesmelis DE, Vasilakou CG, Kalogeropoulos K, Stathopoulos N, Alexandris SG, Zervas E, Oikonomou PD, Karavitis CA. 2022. Drought assessment using the standardized precipitation index (SPI) in GIS environment in Greece. In: Computers in Earth and Environmental Sciences. Elsevier. pp. 619–633. [accessed 2024 Jun 15].

https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323898614000257

Wang Y, Ma J, Xiao X, Wang X, Dai S, Zhao B. 2019. Long-term dynamic of Poyang Lake surface water: A mapping work based on the

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Comparison of Satellite and Ground-Based Precipitation Data for Drought Index Analysis in the Khorasan Razavi Province

Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani*
Department of Water Science and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Drought is a complex natural hazard that can have significant impacts on socio-economic and environmental. Traditional methods of drought assessment often rely on ground-based precipitation measurements, which can be sparse and unevenly distributed, especially in underdeveloped regions. The Standardized Precipitation Index (SPI) is widely used for its assessing and monitoring drought, especially in arid regions. However, the reliability of SPI calculations heavily depends on the availability and accuracy of precipitation data. Satellite precipitation products (SPPs) offer an alternative by providing comprehensive coverage and consistent data over large areas, which is particularly useful in regions with limited ground-based observations.

Materials and Methods

Using four monthly SPPs-TRMM 3B43 (TRMM), GPM-IMERG v6 (GPM), PERSIANN-CDR (PERSIANN), and ERA5- available on the Google Earth search engine, the 12-month drought index was calculated. Then, this index was compared with the index calculated using long-term precipitation data from ground-based stations, both individually for each station and collectively at the provincial level in Khorasan Razavi, located in northeastern Iran.

The selected stations include Quchan, Gonabad, Kashmar, Mashhad, Neyshabour, Sarakhs, Sabzevar, Golmakan, Torbat-e Jam and Torbat-e Heydarieh. The study period spans from 2000 to 2020, covering various climatic variations and drought events. To assess the performance of the satellite data, several statistical metrics were computed, including the correlation coefficient (CC), root mean square error (RMSE), relative bias (RBIAS), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), and estimation probability (POD). Using these criteria, the accuracy and reliability of satellite products in estimating drought indices can be evaluated within a robust framework.

Results and Discussion

The performance evaluation of the satellite products revealed varied results across different stations.

Article Type: Research Article
***Corresponding Author's E-mail**: shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir
Citation: Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. 2025. Comparison of Satellite and Ground-Based Precipitation Data for Drought Index Analysis in the Khorasan Razavi Province. Watershed Management Research. 38(2): 1-19.
DOI: 10.22092/wmrj.2024.366564.1591
Received: 31 July 2024, **Received in revised form:** 03 September 2024, **Accepted:** 19 September 2024
Published online: 22 June 2025
Watershed Management Research, VOL. 38, No. 2, Ser. No: 147, Summer, pp. 1-19.
Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center
©Author(s)

The performance of the TRMM product was better in Torbat-e Heydarieh, Quchan, Kashmar, Mashhad, and Neyshabour. This product exhibited a high correlation coefficient and low root mean square error values compared to ground-based data, indicating its reliability in these regions. The performance of the PERSIANN and GPM products was better in Golmakan and Sabzevar, respectively, and they showed better agreement with ground-based rainfall data at these stations. The ERA5 product was found to be most effective in Torbat-e Jam, Gonabad, and Sarakhs, demonstrating a high degree of accuracy in these areas. The relative bias and mean error metrics also showed that overall, the satellite products provided accurate rainfall estimates with minimal systematic deviation from ground-based data. The NSE values, which which can be used to assess the predictive accuracy of models, were greater than 0.65 for the top-performing products, indicating their high efficiency in drought monitoring.

The results of the point-by-point statistical analysis were better compared to the aggregated data at the provincial level. In the aggregated analysis, the highest correlation coefficient (CC=0.8), the highest Nash-Sutcliffe efficiency (NSC=0.55), the lowest root mean square error (RMSE=0.61), and the highest probability of detection (POD=0.70) were obtained from the TRMM satellite data. It seems that individual stations may provide different data compared to the entire province due to specific local conditions such as the presence of local water sources, specific vegetation cover, or human influences. Therefore, by aggregating the data at the provincial level, the impact of these local anomalies was amplified, and the resulting outcomes, due to reduced accuracy and increased influence of local anomalies, no longer accurately reflected the actual climatic conditions of the province. It can be concluded that the validation of the aforementioned satellite products in determining the 12-month drought index should be carried out locally.

Conclusion and Suggestions

Based on the accuracy assessment of the 12-month SPI time scale, the performance of satellite-derived precipitation data in the studied areas was satisfactory. The results of separate statistical analyses of the data at each station were more accurate compared to the aggregated analysis of all stations. n particular, the accuracy of TRMM data for Torbat-e Heydarieh, Quchan, Mashhad, Neyshabour, and Kashmar stations; the GPM data for Sabzevar station; the ERA5 data for Torbat-e Jam, Sarakhs, and Gonabad stations; and the PERSIANN data for Golmakan station were suitable and can be used for water resources management and drought monitoring. It is suggested that, given the appropriate accuracy of satellite data, these data can be used as a valuable long-term dataset to investigate droughts in the studied areas of Khorasan Razavi Province. Because satellite data uses different data sources, each of these data may be affected by various environmental, geographical, and climatic factors. Therefore, due to local characteristics and inherent differences in the instructions used in each data, it was expected that performance would not be the same across all stations. Therefore, it is suggested to use large-scale satellite data, data analysis methods, local calibration, and uncertainty modeling in a combined manner to achieve an appropriate confidence factor for these data.

Keywords: arid and semiarid regions, drought assessment, google earth engine, satellite-based precipitation products

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

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

Data Availability Statement

The data and results used in this research will be made available upon request through correspondence with the corresponding author.

Authors' Contribution

All parts of the article were written by the corresponding author.

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

ارزیابی اثرات اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی طرح آبخیزداری دشت امامزاده جعفر شهرستان گچساران

آیت‌اله کرمی[1*]، مصطفی احمدوند[2]، فاطمه علی‌پناهیان[3]
۱- استاد گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- استاد گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۳- دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

فعالیت‌های هدفمند آبخیزداری به‌عنوان یک راهکار جامع برای کاهش اثرات منفی سیلاب‌ها و مبارزه با تغییرات اقلیمی، نقش بسیار حیاتی در تأمین امنیت آبی، بهبود معیشت و کیفیت زندگی جوامع دارند. در آینده‌ای نزدیک، این رویکردها می‌توانند به بهبود تاب‌آوری جوامع در برابر چالش‌های محیطی کمک کنند و توسعه پایدار را تسهیل سازند. همچنین، تغییر اقلیم و افزایش شدت و فراوانی سیلاب‌ها، به‌شکل مستقیم بر امنیت غذایی، بهداشت عمومی و توسعه اجتماعی تأثیرگذار است. برای کاهش اثرات این پدیده‌ها، به بررسی تغییرات آب و هوا و برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت آبخیزها و به‌کارگیری روش‌های سازگاری با اقلیم، نیاز است. و با تغذیهٔ مناسب آب‌های زیرزمینی، سبب افزایش امنیت آبی و کشاورزی می‌شود. بهبود خدمات بوم‌سازگانی با انجام فعالیت‌های آبخیزداری، از یک سو، سبب تأمین منابع آب و محیط زیست سالم می‌شود و از سوی دیگر، توسعهٔ پایدار اقتصادی و معیشتی جوامع محلی را نیز بهبود می‌بخشد. همچنین آبخیزداری نقش مهمی در مدیریت منابع آب و خاک دارد و در توسعه پایدار روستایی بسیار مؤثر است و ارزیابی اثرات آن ضروری است. این پژوهش، با هدف بررسی اثرات اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی طرح آبخیزداری امامزاده جعفر از دیدگاه روستاییان بهره‌دار، انجام شد.

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی:** ayatkarami@yu.ac.ir
استناد: کرمی، آ.، احمدوند، م.، علی‌پناهیان، ف. ۱۴۰۴. ارزیابی اثرات اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی طرح آبخیزداری دشت امامزاده جعفر شهرستان گچساران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۲): ۳۷-۲۰.
شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2025.363070.1594
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۱۱/۱۰، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ‌پیاپی۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴،صفحه‌های ۲۰ تا ۳۷.
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس
© نویسندگان
CC BY

مواد و روش‌ها

جامعهٔ آماری این پژوهش کشاورزان و دامداران روستاهای ناصرآباد، امامزاده جعفر و مهاجرین شهرستان گچساران (در مجموع ۱۲۰ نفر) بودند. بر اساس جدول کرجسی و مورگان، تعداد نمونه مناسب برای بررسی این جمعیت ۹۰ نفر است که با شیوهٔ نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. آلفای عامل‌های اجتماعی ۸۶، عامل‌های اقتصادی ۸۷ و عامل‌های زیست‌محیطی ۸۰ بود. اجزای پرسش‌نامه متشکل از ویژگی‌های فردی، گویه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بود. همچنین، پرسش‌نامه در طیف لیکرت پنج قسمتی (۱= بسیارکم، ۲= کم، ۳= متوسط، ۴=زیاد و ۵= بسیارزیاد) تنظیم شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های توصیفی و استنباطی استفاده شد. در روش توصیفی بعد از محاسبهٔ میانگین و انحراف معیار، ضریب تغییرات به‌دست آمد و گویه‌های هر عامل بر اساس ضریب تغییرات اولویت‌بندی شد. سپس، از ضریب همبستگی برای تعیین رابطه‌ها، از آزمون تعقیبی برای تفسیر معناداری تفاوت میانگین میان گروه‌ها و از تحلیل خوشه‌ای برای گروه‌بندی استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج آزمون تعقیبی از دیدگاه زیست‌محیطی تفاوت میان روستاهای مهاجرین و ناصرآباد معنادار نبود؛ اما تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد و همچنین تفاوت میان امامزاده جعفر و مهاجرین، در سطح یک درصد معنادار بود. در تحلیل عامل‌های اجتماعی نیز، تفاوت میان مهاجرین و ناصرآباد معنادار نبود، اما تفاوت میان امامزاده جعفر با هر دو روستای دیگر در سطح ۰/۹۹ معنادار بود. از دیدگاه اقتصادی، تفاوت میان روستاهای مهاجرین و ناصرآباد و تفاوت میان امامزاده جعفر و مهاجرین معنادار نبود، ولی تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد در سطح یک درصد معنادار بود. سرانجام، ضریب همبستگی میان سطح زیر کشت و عامل‌های اقتصادی ۰/۳۹ به‌دست آمد که بیانگر رابطهٔ معنادار اما نسبتاً ضعیف بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج آزمون تعقیبی، وضعیت روستای امامزاده جعفر از دیدگاه زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در مقایسه با دو روستای دیگر بهتر بود. همچنین، وضعیت روستای ناصرآباد نیز از همه دیدگاه‌ها در مقایسه با روستای مهاجرین بهتر بود. نتایج تحلیل خوشه‌بندی نشان داد که وضعیت روستای امامزاده جعفر از همه دیدگاه‌ها از دو روستای دیگر بهتر بود. همچنین، بهترین وضعیت زیست‌محیطی مربوط به روستای امامزاده جعفر و مهاجرین بود. یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در هر طرح آبخیزداری اثرات زیست‌محیطی آن است و باید به آن توجه شود. بر پایهٔ نتایج این پژوهش، طرح آبخیزداری امامزاده جعفر از دیدگاه توجه به مسائل زیست‌محیطی موفق بوده است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود، در مراحل مختلف پژوهش و اجرای طرح‌های آبخیزداری به دیدگاه‌ها و درخواست‌های منطقی آبخیزنشینان اهمیت‌داده شود تا بتوان در اجرای طرح از دیدگاه جوامع محلی استفاده کرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود به‌دنبال افزایش گردشگر پس از اجرای طرح، بودجهٔ لازم برای گسترش یا بهبود زیرساخت‌های ارتباطی و رفاهی منطقه افزایش یابد.

واژگان کلیدی

آبخیز، سیلاب، ارزیابی، کشاورزان، آب‌های زیرزمینی

مقدمه

هم‌اکنون، تغییرات آب و هوایی به سویی پیش می‌رود که احتمال افزایش بروز تغییرات اقلیمی در بسیاری از مناطق جهان در دهه‌های آینده وجود دارد (تاناکا و همکاران ۲۰۱۸). تغییرات مداوم در اقلیم به‌طور مستقیم بر قابلیت اطمینان منابع آب در دسترس تأثیر می‌گذارد و منجر به کاهش دسترسی طبیعی به آب

(کاهش سطح آب زیرزمینی و سرعت جریان‌ها) می‌شود (ساس و همکاران ۲۰۲۱). با توجه به کمبود رو به رشد آب و مشکلات ناشی از آن در سراسر جهان، بررسی این مشکلات ضروری است (یونیال و همکاران ۲۰۲۰). در این میان آبخیزداری به‌دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی مختلف و اثرات مثبت آن در حفاظت آب، یکی از پرکاربردترین فناوری‌های ذخیرهٔ آب به‌شمار می‌آید (ردی و همکاران ۲۰۱۷). عملیات آبخیزداری نقش مهمی در مدیریت آبخیزها، تأمین نیازهای جامعه و حفظ محیط زیست ایفا می‌کند. با توجه به افزایش فشار جمعیت و تقاضا برای بهره‌وری بیشتر، استفاده از این روند به‌طور روزافزونی در حال گسترش است (وانگ و همکاران ۲۰۱۶) و سرمایه‌گذاری در طرح‌های آبخیزداری به‌عنوان یکی از بهترین راهکارها برای بازیابی منابع آب و حفاظت از بوم‌سازگان‌های طبیعی به‌شمار می‌آید (همل و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین، توسعهٔ هدفمند فعالیت‌های آبخیزداری می‌تواند اثرات مثبت قابل‌توجهی بر سطح آب‌های زیرزمینی، پایداری منابع آبی در چاه‌ها و در دسترس بودن آب برای مصارف خانگی و غیره داشته باشد (پالانیسامی و کومار ۲۰۰۹). اما در مدیریت مؤثر آبخیزداری بایستی خدمات بوم‌سازگانی برای همهٔ بهره‌برداران بهبود یابد و به کاهش تضادها توجه ویژه‌ای شود. همچنین، لازم است در این مدیریت به همه جنبه‌های اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی توجه شود (کاسترو و همکاران ۲۰۱۶). بنابراین، ارزیابی اثرات طرح‌های آبخیزداری در راستای افزایش کارایی، بررسی منافع، هزینه‌ها و آثار مثبت و منفی آن‌ها ضروری است (یزدانی و همکاران ۲۰۰۹). ازاین‌رو، در چند دههٔ گذشته از نتایج ارزیابی اقدامات حفاظتی آبخیزداری به‌موجب اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های پرشمار، استفاده‌شده است (ون لیو و همکاران ۲۰۰۷). ارزیابی اثرات طرح‌های آبخیزداری ابزاری کارآمد برای طراحان و مدیران، در نمایش آثار اقتصادی و اجتماعی این طرح‌ها برای ساکنان محلی است. زیرا، ناحیهٔ آبخیزداری همواره محل سکونت مردم محلی بوده و اثرات مهمی بر شرایط اقتصادی و اجتماعی آن‌ها دارد (حسنی و ملکی ۲۰۲۰). با این حال، طرح‌های آبخیزداری تحت تأثیر عامل‌های بسیاری است. در طرح‌های آبخیزداری، عامل‌هایی مانند سطح سواد، اندازهٔ استفاده روستاییان از منابع اطلاعات ترویجی و همکنش‌های اجتماعی اثرات مثبت و معناداری بر توانمندی اقتصادی و مشارکت روستاییان دارند (مهردوست و همکاران ۲۰۱۳). همچنین، مالکیت زمین نقش حیاتی در مشارکت در برنامه‌ریزی برای آبخیز و اجرای فعالیت‌های مرتبط دارد. (کاتوسیم و شوت ۲۰۲۰). بنابراین رفتار مشارکتی در مدیریت آبخیزداری تأثیرگذار است و سرمایهٔ اجتماعی مردم نقش اساسی در تسهیل مشارکت ایفا می‌کند (اوهنو و همکاران ۲۰۱۰). همچنین، بهره‌گیری از دانش محلی، به اشتراک‌گذاری اطلاعات، به‌کارگیری روش‌های پیشرفته جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها و در نظر گرفتن نگرانی‌های بوم‌سازگانی و اجتماعی-اقتصادی می‌تواند به بهبود مسائل اجتماعی و ترمیم نابودی‌های زیست‌محیطی منجر شود و سلامت و بهداشت عمومی را افزایش دهد. به این ترتیب، مدیریت آبخیز باید از دانش بومی نشأت گیرد و راهبردها بایستی نیازهای اجتماعی و بوم‌سازگانی و تغییرات احتمالی مرتبط با تغییرات آب و هوایی را در نظر داشته باشند (وانگ و همکاران ۲۰۱۶). سرانجام، اهداف مدیریت فعالیت‌های آبخیزداری شامل کاهش مهاجرت، کاهش رخداد سیلاب، کاهش بیکاری، مهار سیلاب و رسوب و افزایش رضایتمندی و مشارکت مردم در این طرح‌ها خواهد بود (جمالی و همکاران ۲۰۱۳).

در پژوهشی مددی و ملکی (۲۰۱۸) عامل‌های اجتماعی مؤثر بر آبخیزداری را شامل کاهش مهاجرت، افزایش اشتغال و مشارکت محلی در اجرای طرح‌ها و نظارت بر مراقبت از آن‌ها شناسایی کردند. همچنین، آن‌ها به عامل‌های اقتصادی مؤثر همچون مهار سیلاب، احیای زمین‌های کشاورزی، افزایش سطح زمین‌های باغی، توسعه زمین‌های دیم و افزایش تولیدات کشاورزی و دامی اشاره کردند. افزون بر این، در پژوهش نامبرده، متغیرهای زیست‌محیطی تأثیرگذار بر آبخیزداری، شامل افزایش حجم آب‌های زیرزمینی و پوشش گیاهی منطقه نیز در نظر گرفته شده‌اند. یزدانی و همکاران

(۲۰۰۹) نیز در پژوهشی به عامل‌هایی چون مهاجرت، اشتغال و مشارکت محلی در طرح‌ها اشاره کردند. این پژوهشگران عامل‌های اقتصادی شامل مهار سیلاب، احیای زمین‌ها، اندازهٔ تولید و افزایش قیمت زمین را نیز بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که طرح ساماندهی زنجان‌رود در مهار سیلاب و افزایش سطح زیرکشت بسیار موفق بود و در پی آن، اندازهٔ تولید و درآمد کشاورزان افزایش یافت، به‌طوری‌که ۹۲٪ درصد پاسخ‌دهندگان اعلام کردند که این طرح آثار اقتصادی قابل‌توجهی برای کشاورزان منطقه زنجان‌رود به‌همراه داشته است.

آیوی و جها (۲۰۱۸) گزارش کردند که طراحی بوم‌سازگان گردشگری در آبخیزداری می‌تواند به بهبود درآمد جوامع محلی کمک کند؛ ازاین‌رو، دولت باید پرداخت برای خدمات بوم‌سازگانی (PES) در سطح خرد را به‌عنوان یک راهبرد حفاظتی آبخیزداری تسهیل نماید. همچنین، کومار و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که اصلاح رسم ریزآبخیزها در آبخیزداری نقش حیاتی بر اجرای صحیح اقدامات حفاظتی خاک و آب داشت و پس از اجرای طرح‌های آبخیزداری، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر پوشش گیاهی و تغییر الگوی کشت کشاورزان منطقه مشاهده شد.

بر اساس نتایج پژوهش‌های نامبرده، متغیرهای افزایش سطح آگاهی، بهبود وضعیت بهداشتی روستاها، اعتماد مردم به یکدیگر، پوشش گیاهی، تغییر الگوی کشت کشاورزان و افزایش گردشگر به روستا مهم‌ترین متغیرهایی هستند که باید در این پژوهش بررسی شوند. در این پژوهش به‌طور ویژه اثرات اجتماعی و اقتصادی طرح‌های آبخیزداری در سه روستای ناصرآباد، امامزاده جعفر و مهاجرین در شهرستان گچساران ارزیابی شد. همچنین، اثرات این طرح‌ها بر وضعیت معیشتی مردم، ازجمله کشاورزی، اشتغال و مهاجرت بررسی شد. برخلاف بسیاری از پژوهش‌های پیشین که بر اثرات زیست‌محیطی و فنی طرح‌های آبخیزداری تأکید داشته‌اند، در این پژوهش جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی این طرح‌ها بررسی شد. بنابراین، نوآوری این پژوهش، بررسی هم‌زمان اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی این طرح‌ها و تحلیل جامع آن‌ها از جنبه‌های گوناگون بود که می‌تواند به‌شکل ویژه‌ای در توسعه پایدار روستاهای مناطق خشک و نیمه‌خشک مفید باشد.

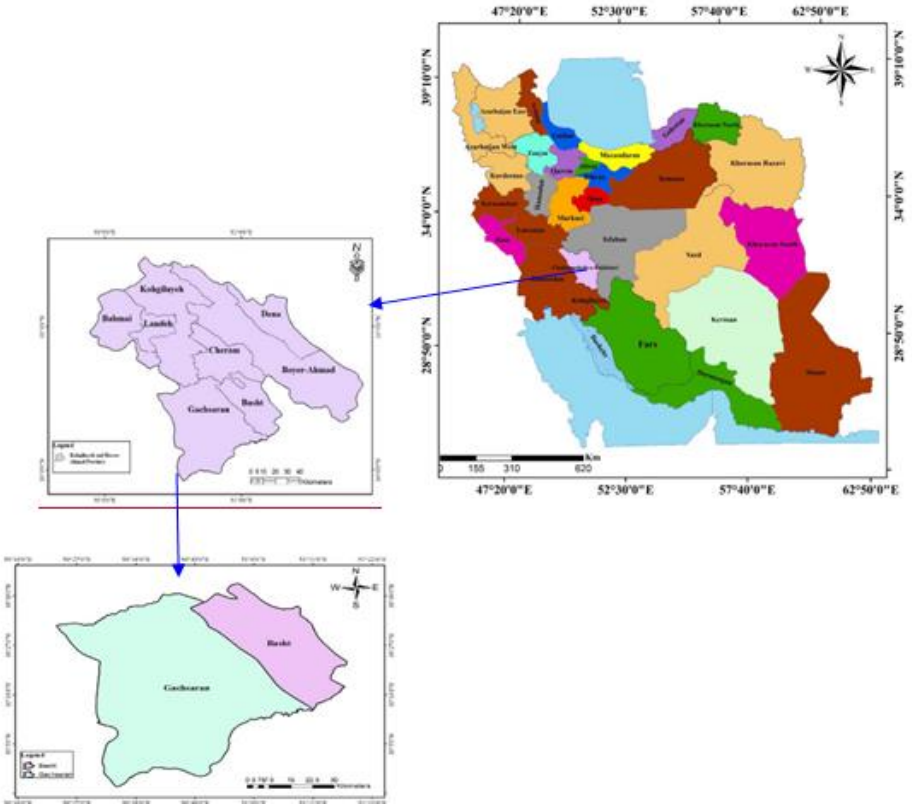
شهرستان گچساران با ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی ویژه در مناطق شرقی و غربی، از مناطق حساس به تغییرات اقلیمی و بحران‌های طبیعی مانند سیلاب‌ها است. در این منطقه، اجرای طرح‌های آبخیزداری اهمیت زیادی دارد. به‌ویژه در دهستان امامزاده جعفر که با مشکلاتی چون فرسایش خاک، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و آسیب‌های ناشی از سیلاب‌ها روبه‌رو است، بررسی اثرات اجتماعی و اقتصادی این طرح‌ها می‌تواند اطلاعات کاربردی و عملیاتی برای مدیران و برنامه‌ریزان منطقه فراهم آورد. انتخاب این آبخیز برای پژوهش، به‌دلیل شرایط خاص اقلیمی و مشکلات اجتماعی - اقتصادی این منطقه، می‌تواند نقش مهمی در بهبود وضعیت معیشتی مردم و حفاظت از منابع طبیعی ایفا کند. در نتیجه، این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک الگو برای دیگر مناطق مشابه در ایران و حتی کشورهای دیگر با اقلیم مشابه به‌کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در این پژوهش شهرستان گچساران در جنوب‌غربی استان کهگیلویه‌وبویراحمد بود. مساحت این شهرستان ۴۶۸۳ کیلومترمربع است. ارزیابی اثرات طرح آبخیزداری آن به‌دلیل گرمسیر بودن با اهمیت است. ارزیابی اثرات، ارائه یک چارچوب اخلاقی برای اظهارنظرهای معنادار است که آیا تغییرات خاص (سیاست‌ها و برنامه‌ها) موجب بهبود رفاه شده است (بروور ۲۰۱۹). در ارزیابی طرح باید همه جنبه‌ها را بررسی کرد. ارزیابی اثرات اجتماعی، فرآیند ارزیابی یا برآورد پیامدهای اجتماعی است که از اقدامات سیاسی یا برنامه‌ریزی خاص یا توسعه طرح‌های ملی یا استانی ناشی می‌شوند که این پیامد اعم از خواسته و ناخواسته، مثبت یا منفی بر محیط انسانی تأثیرگذار است (ونکلی ۲۰۰۲). بنابراین، فرایندی است که شناسایی و کاهش

اثرات منفی یک طرح و افزایش اثرات مثبت آن برای درک و پاسخ به مسائل اجتماعی را ارزیابی می‌کند (استیوز و همکاران ۲۰۱۲). ازاین‌رو، ارزیابی اثرات اجتماعی یعنی، ارزیابی هر چیزی که آسایش و تنوع زیستی مردم و جوامع را تحت تأثیر قرار دهد (نواکی و همکاران ۲۰۱۴). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA)[1] ارزیابی اثرات احتمالی ناشی از یک طرح بزرگ (یا اقدام دیگر) است که به‌طور قابل‌توجهی بر محیط زیست تأثیرگذار است. ازاین‌رو، فرآیندی است برای در نظر گرفتن اثرات احتمالی، قبل از تصمیم‌گیری که آیا یک پیشنهاد باید تأیید شود یا خیر. فرآیند EIA به‌عنوان یک سازوکار عملی برای دستیابی به سطوح بلندپروازانه حفاظت از محیط زیست است (جی و همکاران ۲۰۰۷). ازاین‌رو، یک ابزار ضروری برای تصمیم‌گیری در طرح‌های توسعه‌ای و همچنین فرآیندی سامانمند برای شناسایی، پیش‌میانی و ارزیابی اثرات زیست‌حیطی اقدامات و طرح‌های پیشنهادی است. این فرآیند قبل از تصمیم‌گیری‌ها و تعهدات عمده اعمال می‌شود (ابراهیم و همکاران ۲۰۲۰) و هدف نهایی آن ارائه نشانه‌ای از پیامدهای احتمالی اقدامات یا فرآیند ارزیابی رسمی برای تصمیم‌گیرندگان برای شناسایی، پیش‌میانی، ارزیابی و توجیه زیست‌محیطی مرتبط است (آنولیکا و همکاران ۲۰۱۵). ارزیابی اثرات اقتصادی تحلیل تطبیقی راهکارهای گوناگون یک فعالیت، مداخله یا برنامه بر اساس هزینه‌ها و پیامدهای آن و اقدامات پیشنهادی برای اجتناب از کاهش اثرات منفی اقتصادی و افزایش اثرات مثبت یک طرح است (اندرسون ۲۰۱۰) که نشان‌دهندهٔ اثرات مثبت یا منفی رفتار انسان‌ها بر جنبهٔ اقتصادی طرح است (عقیلی و همکاران ۲۰۲۰).



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده.

Figure 1- Location of the studied area.

1- Environmental Impact Assessment

روش پژوهش

این پژوهش از دیدگاه هدف، کاربردی و از دیدگاه اندازهٔ و درجهٔ مهار متغیرها، میدانی و از دیدگاه پژوهشی، توصیفی-تحلیلی بود. روش جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش پیمایشی بود و از پرسش‌نامه برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شد. جامعه آماری در این پژوهش کشاورزان و دامداران روستاهای ناصرآباد، مهاجرین و امامزاده جعفر شهرستان گچساران (در مجموع ۱۲۰ نفر) بودند. بر اساس جدول Krejcie و Morgan (۱۹۷۰) تعداد نمونه مناسب برای بررسی این جمعیت ۹۰ نفر بود که به شیوهٔ نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. آلفای عامل‌های اجتماعی ۰/۸۶، عامل‌های اقتصادی ۰/۸۷ و عامل‌های زیست‌محیطی ۰/۸۰ بود. اجزای پرسش‌نامه متشکل از ویژگی‌های فردی، گویه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بود. همچنین، پرسش‌نامه در طیف لیکرت پنج قسمتی (۱= بسیارکم، ۲= کم، ۳= متوسط، ۴=زیاد و ۵= بسیارزیاد) تنظیم شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های توصیفی و استنباطی استفاده شد. در روش توصیفی بعد از محاسبهٔ میانگین و انحراف معیار، گویه‌های هر عامل بر اساس ضریب تغییرات اولویت‌بندی شد. سپس، از آزمون‌های استنباطی ضریب همبستگی برای تعیین رابطه‌ها، از آزمون تعقیبی برای تفسیر معناداری تفاوت میانگین میان گروه‌ها و از تحلیل خوشه‌ای برای گروه‌بندی استفاده شد.

نتایج و بحث

روستاهای تحت پوشش طرح‌های آبخیزداری در شکل ۲ نشان‌داده شده است. این طرح به منظور حفاظت از منابع آب و خاک، جلوگیری از فرسایش و ارتقاء بهره‌وری زمین‌های کشاورزی اجرا شد. یافته‌ها نشان داد که ۲۶ نفر با فراوانی ۲۸/۹٪ تحصیلات کمتر از دبیرستان و بدون رشته تحصیلی، ۱۸ نفر با فراوانی ۲۰٪ در رشته کشاورزی، ۱۸ نفر با فراوانی ۲۰٪ در رشتهٔ علوم انسانی تحصیل کرده‌اند. به‌طورکلی، مراتع موجود در روستاها عمومی بود و همه از آن استفاده می‌کردند و هزینه‌ای پرداخت نمی‌کردند. در بررسی‌های انجام‌شده، بیشترین تعداد دام سبک قبل از اجرای طرح، ۱۰۰ رأس و بعد از آن ۲۰۰ رأس بود و درصد فراوانی هر دو ۱/۱ به‌دست آمد. همچنین، بیشترین تعداد دام سنگین قبل از اجرای طرح ۱۰ رأس و پس از آن ۲۵ رأس گزارش شد و درصد فراوانی هر دو ۱/۱ به‌دست آمد. همچنین، مسن‌ترین فرد ۷۰ سال سن، بیشترین درآمد سالانه ۶۰۰ میلیون تومان، کمترین سابقه سکونت در روستا یک سال، بیشترین سطح زیر کشت ۲۰ هکتار و بیشترین بعد خانوار هفت سال بود.

کشاورزان

روستای امامزاده‌جعفر

روستای ناصرآباد

روستای مهاجرین

شکل ۲- روستاهای تحت طرح آبخیزداری.

Figure 2- Villages under the watershed management plan.

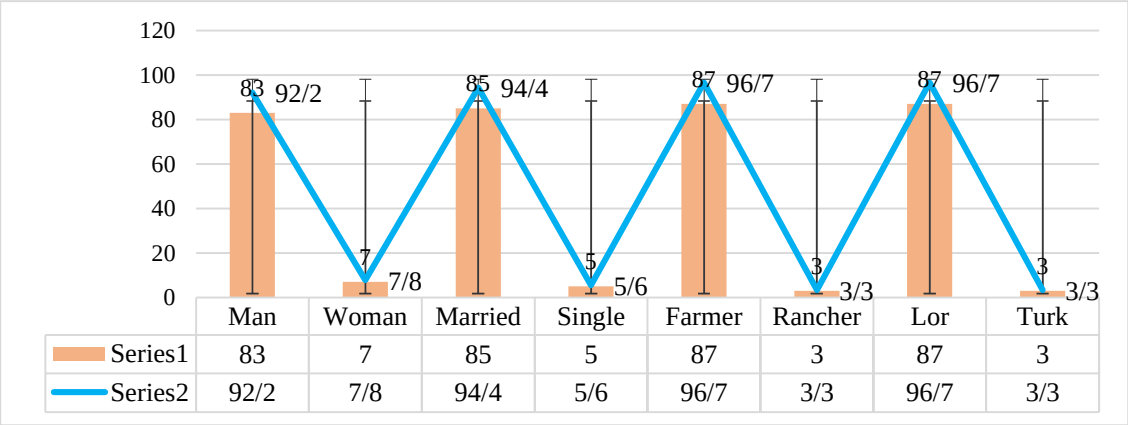
جدول ۱- تحلیل توصیفی.

Table 1- Descriptive analysis.

Average	Maximum	Minimum	Variable
47	70	28	age
15	70	1	Residence period
90 million tomans	600 million tomans	400 million tomans	amount of income
55 million tomans	120 million tomans	40 million tomans	Annual cost of living
5	7	3	Family size
2	20	0.25	Cultivated area

توصیف ویژگی‌های فردی

با توجه به شکل ۳، بیشترین درصد پاسخ‌دهندگان مرد کشاورز بودند و فقط ۳/۳٪ درصد دامدار بودند این موضوع به‌دلیل شرایط مساعد منطقه برای کشاورزی بود. همچنین، بیشترین فراوانی مربوط به قوم لر (۹۶/۷ درصد) بود و ۹۴/۴٪ از پاسخ‌دهندگان متاهل و ۹۲/۲٪ مرد بودند که نشان‌دهندهٔ ویژگی‌های جمعیتی و اجتماعی غالب در این جامعه بود.



شکل ۳- توصیف ویژگی‌های فردی.

Figure 3- Description of individual characteristics.

تحلیل اولویت‌بندی

یکی از تفاوت‌های آمار توصیفی و استنباطی این است که در آمار توصیفی هیچ‌گاه نتایج را به کل جمعیت تعمیم نمی‌دهند، ولی مفهوم اصلی آمار استنباطی تعمیم‌پذیری نتایج به‌کل جمعیت است (کریمی ۲۰۱۵). در این پژوهش، عامل‌های اقتصادی با ۲۵ گویه سنجیده شد که مهم‌ترین گویه‌های آن در جدول ۲ نشان‌داده شده است. نتایج بررسی میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات گویه‌ها نشان داد که گویهٔ کاهش هزینه‌های زراعت آبی، پس از اجرای طرح آبخیزداری با ضریب تغییرات ۰/۴۲ در اولویت اول بود. از دیرباز به‌دلیل کمبود نزولات جوی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ذخیرهٔ آب در قالب طرح‌هایی برای ایجاد شرایط مناسب برای توسعه فعالیت‌های انسانی مطرح بوده است. ازاین‌رو، اقدامات آبخیزداری ارزش اقتصادی مهمی دارند و موجب کاهش احتمال رخداد خشک‌سالی و افزایش تداوم جریان آب هستند که این باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش تولید زراعت آبی و در نهایت بهبود درآمدزایی کشاورزان شده و در اولویت دوم کشاورزان بود. یکی از مهم‌ترین چالش‌های انتقال آب در ایران از دیدگاه اقتصادی، هزینه‌های هنگفت انتقال آب است و این در حالی است که یکی از راه‌های مقرون‌به‌صرفه و حفظ محیط زیست برای تأمین آب و

رفع چالش کم‌آبی و خشک‌سالی، آبخیزداری و آبخوان‌داری است؛ بنابراین، گویهٔ کاهش قیمت آب پس از اجرای طرح آبخیزداری در اولویت سوم عامل‌های اقتصادی از دید بهره‌وران بود. در این پژوهش، عامل‌های اجتماعی با ۲۴ گویه سنجیده شد که مهم‌ترین گویه-های آن در جدول ۲ نشان‌داده شده است. نتایج بررسی میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات گویه‌ها نشان داد که گویهٔ افزایش اعتماد مردم به یکدیگر پس از اجرای طرح آبخیزداری در اولویت اول بود. هر چه سطح توسعه‌یافتگی به‌ویژه اعتماد و اطمینان بیشتر باشد فضای فعالیت همچون همکاری و همیاری میان اعضای یک گروه یا یک جامعه بیشتر است و نظام هدفمندی را شکل داده و آن‌ها را در راستای دستیابی به هدف‌های ارزشمند هدایت می‌کند. هر چه اندازهٔ اعتماد افزایش یابد، تمایل به راه‌حل‌های همکارانه و سرمایه‌گذاری بیشتر و هزینه مبادله در جامعه کاهش می‌یابد. نبودن اعتماد سبب تأخیر در کارها و هزینه بر شدن آن‌ها، خلل در روابط و همکنش‌های اجتماعی می‌شود. گویهٔ افزایش گردشگر به روستا پس از اجرای طرح آبخیزداری در اولویت دوم بود. گردشگری روستایی بخشی از بازار گردشگری و منبعی برای اشتغال و درآمد است و می‌توان آن را ابزار مهمی برای توسعه اقتصادی اجتماعی و بوم‌سازگانی جوامع روستایی دانست که نقش اساسی در اندازهٔ توسعه و حفظ ذخایر نواحی روستایی ایفا می‌کند. همچنین گویهٔ کاهش مهاجرت روستاییان پس از اجرای طرح آبخیزداری در اولویت سوم بود. عامل اصلی مهاجرت روستاییان به شهرها، مسئله اشتغال است. با توجه به اینکه شغل بیشتر مردم روستا کشاورزی است، سرمایه‌گذاری و توجه به بخش کشاورزی می‌تواند باعث کاهش مهاجرت و کاهش بیکاری روستاییان شود. ازاین‌رو، با اجرای طرح آبخیزداری دسترسی به آب برای کشاورزی و افزایش اشتغال موجب کاهش مهاجرت می‌شود. سپس، عامل‌های زیست‌محیطی با ۲۴ گویه سنجیده شد که مهم‌ترین گویه‌های آن در جدول ۲ نشان‌داده شده است. نتایج بررسی میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات گویه‌ها نشان داد که گویهٔ کاهش حجم سیل پس از اجرای طرح آبخیزداری در اولویت اول پاسخگویان بود. همچنین، گویهٔ افزایش دسترسی به آب‌های سطحی پس از اجرای آبخیزداری در اولویت دوم بود. دسترسی نداشتن به آب سطحی برای آبیاری باعث استفاده زیاد از آب‌های زیرزمینی و پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی می‌شود. ازاین‌رو، دسترسی به آب‌های سطحی موجب حفظ و جلوگیری از شوری آب‌های زیرزمینی می‌شود. گویهٔ سازگاری موقعیت مکانی طرح آبخیزداری با شرایط محیطی در اولویت سوم پاسخگویان بود. سازگاری موقعیت مکانی طرح‌ها و حل مشکل کم‌آبی و جلوگیری از سیل، بر بهبود وضعیت اقتصادی مردم و کاهش بیکاری و حفظ محیط زیست تأثیر زیادی داشت.

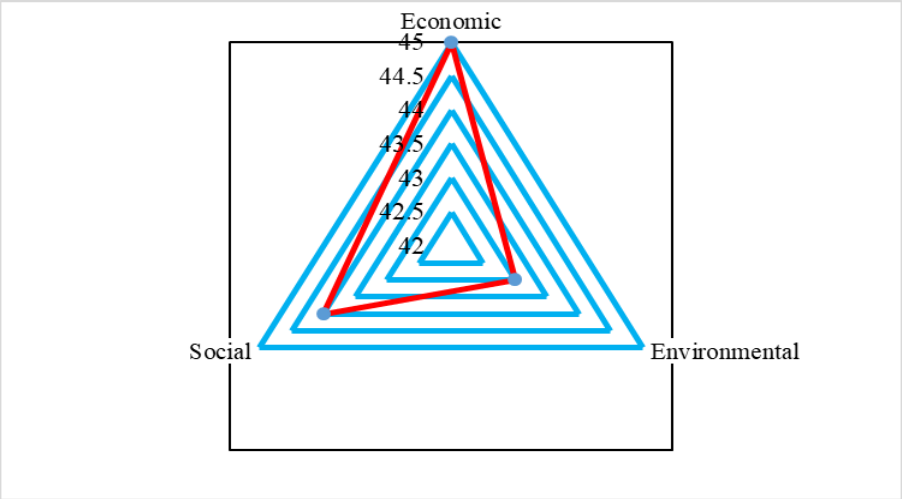
ضریب تغییرات طرح آبخیزداری

بر اساس نتایج میانگین ضریب تغییرات عامل‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی موجود در جدول ۲، شکل ۴ به‌دست آمد. میانگین ضریب تغییرات در بعد اجتماعی (۰/۴۴)، اقتصادی (۰/۴۵) و زیست‌محیطی (۰/۴۳) بود. با این شاخص می‌توان متغیرهای گوناگون را با یکدیگر مقایسه کرد. هرچه اندازهٔ ضریب تغییرات بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ پراکندگی و تنوع بیشتر اندازه‌های یک متغیر است. ازاین‌رو، اندازهٔ ضریب تغییرات زیاد بیانگر آن است که اندازه‌های داده‌ها در مقایسه با میانگین خود به‌طور قابل‌توجهی متفاوت و دور از هم هستند؛ یعنی زمانی که ضریب تغییرات زیاد باشد، تفاوت میان داده‌ها بیشتر است. از سوی دیگر، اگر ضریب تغییرات کم باشد، به این معناست که داده‌ها در مقایسه با میانگین خود کمتر پراکنده‌اند و به حالت تجمع نزدیک‌ترند و هر چه اندازهٔ به‌دست آمده کوچک‌تر باشد بیانگر تمرکز اندازه‌های متغیر حول میانگین است. در برخی مواقع ممکن است میانگین دو جامعه با همدیگر برابر باشند اما انحراف معیار آنها متفاوت باشد، در این شرایط میانگین شاخص مناسبی برای مقایسه دو جامعه نخواهد بود (کلانتری ۲۰۰۶). ازاین‌رو، وضعیت عامل زیست‌محیطی که اندازهٔ ضریب تغییرات کمتری (۰/۴۳) داشت در مقایسه با عامل‌های اجتماعی (۰/۴۴)، اقتصادی (۰/۴۵) بهتر بود.

جدول ۲- اولویت‌بندی گویه‌ها در روستاهای دشت امامزاده جعفر بر اساس طرح آبخیزداری.

Table 2- Prioritization of items in the villages of the Imamzadeh Jafar plain based on the watershed management plan.

	Object	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	Priority
Economic	1-Reducing the costs of irrigated agriculture after the implementation of the watershed project	2. 74	1.16	0. 42	1
	2-Improving income generation in the region after the implementation of the watershed project	2. 74	1.15	0. 42	2
	3- Reduction in the price of water after the implementation of the watershed project	2.60	1.08	0. 42	3
social	1- Increasing people's trust in each other after the implementation of the watershed project	2. 61	0.90	0. 35	1
	2- Increase in tourists to the village after the implementation of the watershed project	2. 86	1.10	0.39	2
	3- Reduction of migration from villagers after the implementation of the watershed project	2. 64	1.04	0.39	3
Environmental	1- Reduction of flood volume after the implementation of the watershed project	2. 97	1.07	0.36	1
	2- Increasing access to surface water after watershed implementation	2. 79	1.07	0.38	2
	3- Compatibility of the location of the watershed project with environmental conditions	2. 60	1.04	0. 40	3



شکل ۴- ضریب تغییرات در روستاهای دشت امامزاده جعفر بر اساس طرح آبخیزداری.

Figure 4- Coefficient of variation in villages of the Imamzadeh Jafar plain based on the watershed management plan.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون

نتایج آزمون همبستگی پیرسون میان تحصیلات و متغیرهای پژوهش در جدول ۳ آورده‌شده است. همبستگی مثبت یعنی با افزایش اندازهٔ یک متغیر اندازهٔ متغیر دیگر نیز افزایش می‌یابد ضریب میان صفر تا ۰/۲۰ نشان‌دهندهٔ نبودن همبستگی و ۰/۲۰ تا ۰/۴۰ همبستگی ضعیف و ضریب میان ۰/۴۰ تا ۰/۶۰ نشان‌دهندهٔ همبستگی متوسط و ضریب میان ۰/۶۰ تا ۰/۸۰ همبستگی زیاد و ضریب میان ۰/۸۰ تا ۱ نشان‌دهندهٔ همبستگی بسیارزیاد است (کریمی ۲۰۱۵). بر اساس نتایج جدول ۳ همبستگی میان تحصیلات و عامل‌های اجتماعی در سطح پنج درصد معنادار و اندازهٔ همبستگی ۰/۳۰ بود. ازاین‌رو، رابطهٔ میان تحصیلات و عامل اجتماعی معنادار ولی ضعیف بود. همچنین، همبستگی میان تحصیلات و عامل‌های اقتصادی معنادار بود، اما همبستگی میان تحصیلات و عامل‌های

زیست‌محیطی معنادار نبود. همبستگی میان سابقهٔ سکونت و عامل‌های اجتماعی در سطح یک درصد معنادار و اندازهٔ همبستگی ۰/۳۳ بود. ازاین‌رو، رابطهٔ میان سابقهٔ سکونت و عامل اجتماعی معنادار ولی ضعیف بود. همبستگی میان سابقهٔ سکونت و عامل‌های زیست‌محیطی در سطح یک درصد معنادار و اندازهٔ همبستگی ۰/۳۰ بود. همچنین، همبستگی میان سابقهٔ سکونت و عامل‌های اقتصادی معنادار بود. بر اساس نتایج جدول ۳ همبستگی میان سطح زیر کشت و عامل‌های اجتماعی در سطح پنج درصد معنادار و اندازهٔ همبستگی ۰/۳۰ بود. ازاین‌رو، رابطهٔ میان سطح زیرکشت و عامل اجتماعی معنادار ولی ضعیف بود. همبستگی میان سطح زیر کشت و عامل‌های زیست-محیطی در سطح پنج درصد معنادار و اندازهٔ همبستگی ۰/۳۰ بود. ازاین‌رو، رابطهٔ میان سطح زیر کشت و عامل زیست‌محیطی معنادار ولی ضعیف بود. همچنین، همبستگی میان سطح زیر کشت و عامل‌های اقتصادی در سطح یک درصد معنادار و اندازهٔ همبستگی ۰/۳۹ بود. ازاین‌رو، رابطهٔ میان سطح زیر کشت و عامل اقتصادی معنادار ولی ضعیف بود. همچنین، همبستگی میان اندازهٔ درآمد و عامل‌های اجتماعی در سطح یک درصد معنادار و اندازه همبستگی ۰/۳۳ بود. ازاین‌رو، رابطهٔ میان اندازهٔ درآمد و عامل اجتماعی معنادار ولی ضعیف بود. همبستگی میان اندازهٔ درآمد و عامل‌های زیست‌محیطی معنادار ولی ضعیف بود. همچنین، همبستگی میان اندازهٔ درآمد و عامل‌های اقتصادی در سطح پنج درصد معنادار و اندازهٔ همبستگی ۰/۲۹ بود. ازاین‌رو، رابطهٔ میان اندازهٔ درآمد و عامل اقتصادی معنادار ولی ضعیف بود.

جدول ۳- آزمون همبستگی روستاهای دشت امامزاده جعفر براساس طرح آبخیزداری.

Table 3- Correlation test of villages in the Imamzadeh-Jafar plain based on the watershed management plan.

		Education	Residence record	Income	Cultivated area	Environmental	Social	Economic
Education	Pearson Correlation	1						
	Sig. (2-tailed)							
	N	90						
Residence record	Pearson Correlation	0.214*	1					
	Sig. (2-tailed)	0.043						
	N	90	90					
Income	Pearson Correlation	0.202	0.290**	1				
	Sig. (2-tailed)	0.056	0.006					
	N	90	90	90				
Area under cultivation	Pearson Correlation	.187	0.334**	0.704**	1			
	Sig. (2-tailed)	0.078	0.001	0.001				
	N	90	90	90	90			
Environmental	Pearson Correlation	.200	0.306**	0.252*	0.304**	1		
	Sig. (2-tailed)	0.058	0.003	0.016	0.004			
	N	90	90	90	90	90		
Social	Pearson Correlation	0.302**	0.333**	0.291**	0.398**	0.604**	1	
	Sig. (2-tailed)	0.004	0.001	0.005	0.001	0.001		
	N	90	90	90	90	90	90	
Economic	Pearson Correlation	0.217*	0.221*	0.331**	.304**	0.433**	0.684**	1
	Sig. (2-tailed)	0.040	0.037	0.001	0.004	0.001	0.001	
	N	90	90	90	90	90	90	90

بر اساس نتایج جدول ۴، چون‌که عامل‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در سطح یک درصد و عامل‌های اقتصادی در سطح پنج درصد معنادار بودند، فرضیه H_0 یعنی برابر بودن میانگین رد می‌شود و فرضیه H_1 پذیرفته می‌شود. ازاین‌رو، دست‌کم یکی از گروه‌ها (روستاها) متفاوت است.

H_0: $\mu_1= \mu_2= \mu_3=\ldots \mu_K$

$H_1=$ حداقل یکی از میانگین‌ها متفاوت است.

جدول ۴- آزمون سطح معناداری.

Table 4- Significance level test.

		Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Environmental	Between Groups	541.689	2	2708.344	18.046	0.001
	Within Groups	13057.100	87	150.082		
	Total	18473.789	89			
Economic	Between Groups	1830.167	2	915.233	5.551	0.005
	Within Groups	14343.933	87	164.873		
	Total	16174.400	89			
Social	Between Groups	2364.356	2	1182.178	11.744	0.001
	Within Groups	8757.967	87	100.666		
	Total	11122.322	89			

نتایج آزمون تعقیبی

از دیدگاه زیست‌محیطی آزمون تعقیبی (Dependent) میان روستای مهاجرین و ناصرآباد ۰/۹۰ به‌دست آمد. ازاین‌رو، تفاوت میان این روستاها از دیدگاه زیست‌محیطی معنادار نبود. بنابراین، فرضیهٔ H_0 برای این دو روستا رد نشد. اما تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد و امامزاده جعفر و مهاجرین هر دو در سطح یک درصد معنادار بود. ازاین‌رو، فرضیهٔ H_1 برای این دو روستا پذیرفته شد و فرضیه H_0 رد شد. همچنین، بر اساس نتایج آزمون تعقیبی (Dependent) از دیدگاه عامل‌های اجتماعی، تفاوت میان روستای مهاجرین و ناصرآباد معنادار نبود. بنابراین، فرضیهٔ H_0 برای این دو روستا رد نشد. اما تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد در سطح یک درصد و تفاوت میان امامزاده جعفر و مهاجرین در سطح یک درصد معنادار بود. همچنین، با توجه به نتایج آزمون تعقیبی (Dependent) از دیدگاه عامل‌های اقتصادی، تفاوت میان روستای مهاجرین و ناصرآباد و تفاوت میان امامزاده جعفر و مهاجرین معنادار نبود. بنابراین، فرضیهٔ H_0 برای این روستاها رد نشد، اما تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد در سطح یک درصد معنادار بود. بنابراین، فرضیه H_1 برای این دو روستا پذیرفته شد و فرضیهٔ H_0 رد شد. بر اساس نتایج آزمون تعقیبی (Tamhane) از دیدگاه زیست‌محیطی، تفاوت میان روستای مهاجرین و ناصرآباد معنادار نبود. اما تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد و تفاوت میان مهاجرین و امامزاده جعفر در سطح ۰/۹۹ معنادار بود. همچنین، بر اساس نتایج آزمون تعقیبی (Tamhane) از دیدگاه عامل‌های اجتماعی، تفاوت میان روستای مهاجرین و ناصرآباد معنادار نبود اما تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد در سطح یک درصد و تفاوت میان امامزاده جعفر و مهاجرین در یک درصد معنادار بود. همچنین، با توجه به نتایج آزمون تعقیبی (Tamhane) از دیدگاه عامل‌های اقتصادی تفاوت میان روستای مهاجرین و ناصرآباد و تفاوت میان مهاجرین و امامزاده جعفر معنادار نبود، ولی تفاوت میان امامزاده جعفر و ناصرآباد در سطح یک درصد معنادار بود.

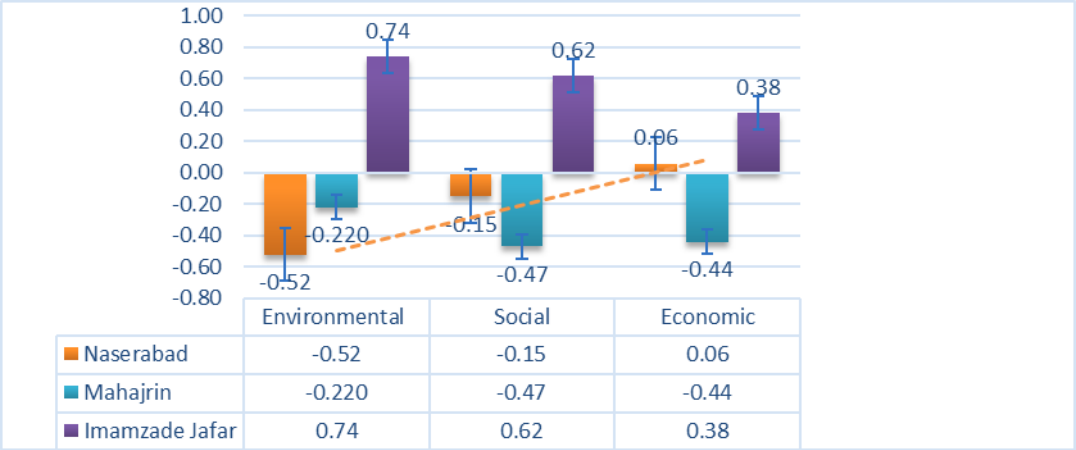
جدول ۵- آزمون آنوا (تعقیبی) روستاهای دشت امامزاده جعفر براساس طرح آبخیزداری.

Table 5- ANOVA test (follow-up) of villages in the Imamzadeh-Jafar plain based on the watershed management plan.

Dependent variable	Name of the village (I)	Name of the village (J)	Average frequency (I-J)	Standard deviation	Significance level	Confidence Interval(95%)	
						Lower bound	Upper bound
Environmental dunnett T3	Naserabad	Mahajrin	-4.36667	1.94736	0.090	-9.2374	0.5041
		Imamzade Jafar	-18.20000*	3.82486	0.001	-27.6699	-8.7301
	Mahajrin	Naserabad	4.36667	1.94736	0.090	-0.5041	9.2374
		Imamzade Jafar	-13.83333*	3.40507	0.001	-22.4074	-5.2393
	Imamzade Jafar	Naserabad	18.20000*	3.82486	0.001	8.7301	27.6699
		Mahajrin	13.83333*	3.40507	0.001	5.2393	22.4074
Environmental tamhane	Naserabad	Mahajrin	-4.36667	1.94736	0.091	-9.2471	0.5138
		Imamzade Jafar	-18.20000*	3.82486	0.001	-27.6839	-8.7161
	Mahajrin	Naserabad	4.36667	1.94736	0.091	-0.5138	9.2471
		Imamzade Jafar	-13.83333*	3.40507	0.001	-22.4274	-5.2393
	Imamzade Jafar	Naserabad	18.20000*	3.82486	0.001	8.7116	27.6839
		Mahajrin	13.83333*	3.40507	0.001	5.2393	22.4274
Social dunnett T3	Naserabad	Mahajrin	3.53333	2.68894	0.477	-3.2207	10.2874
		Imamzade Jafar	-8.66667*	3.10796	0.022	-16.3366	-0.9967
	Mahajrin	Naserabad	-3.53333	2.68894	0.477	-10.2874	3.2207
		Imamzade Jafar	-12.20000*	1.80096	0.001	-16.6943	-7.7057
	Imamzade Jafar	Naserabad	8.66667*	3.10796	0.022	0.9967	16.3366
		Mahajrin	12.20000*	1.80096	0.001	7.7057	16.6943
Social tamhane	Naserabad	Mahajrin	3.53333	2.68894	0.484	-3.2356	10.3022
		Imamzade Jafar	-8.66667*	3.10796	0.022	-16.3468	-0.9865
	Mahajrin	Naserabad	-3.53333	2.68894	0.484	-10.3022	3.2356
		Imamzade Jafar	-12.20000*	1.80096	0/001	-16.7027	-7.6973
	Imamzade Jafar	Naserabad	8.66667*	3.10796	0.022	0.9865	16.3468
		Mahajrin	12.20000*	1.80096	0/001	7.6973	16.7027
Economic dunnett T3	Naserabad	Mahajrin	6.63333	3.26433	0.141	-1.5589	14.8255
		Imamzade Jafar	-4.33333	3.97445	0.623	-14.1132	5.4466
	Mahajrin	Naserabad	-6.63333	3.26433	0.141	-14.8255	1.5589
		Imamzade Jafar	-10.96667*	2.55392	0.001	-17.3510	-4.5823
	Imamzade Jafar	Mahajrin	4.33333	3.97445	0.623	-5.4466	14.1132
		Naserabad	10.96667*	2.55392	0.001	4.5823	17.3510
Economic tamhane	Naserabad	Mahajrin	6.63333	3.26433	0.143	-1.5766	14.8432
		Imamzade Jafar	-4.33333	3.97445	0.627	-14.1250	5.4583
	Mahajrin	Naserabad	-6.63333	3.26433	0.143	-14.8432	1.5766
		Imamzade Jafar	-10.96667*	2.55392	0.001	-17.3635	-4.5698
	Imamzade Jafar	Mahajrin	4.33333	3.97445	0.627	-5.4583	14.1250
		Naserabad	10.96667*	2.55392	0.001	4.5698	17.3635

نتایج تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های آماری است که برای گروه‌بندی واحدها (مانند افراد، جوامع یا روستاها) به‌کار می‌رود که از دیدگاه درون‌گروهی شباهت زیادی با هم دارند اما با گروه‌های دیگر تفاوت زیادی دارند. ازاین‌رو، افراد درون یک گروه به هم شبیه هستند اما با گروه‌های دیگر تفاوت دارند (کلانتری ۲۰۰۶). نتایج تحلیل خوشه‌ای در شکل ۵ نشان‌داده شده است. بر اساس شکل ۵، وضعیت روستای امامزاده جعفر از همه دیدگاه‌ها از دو روستای دیگر بهتر بود. وضعیت این روستا از دیدگاه زیست‌محیطی بهترین بود. درحالی‌که وضعیت روستای ناصرآباد از دیدگاه اقتصادی بهترین بود. همچنین، وضعیت روستای مهاجرین از دیدگاه زیست‌محیطی بهترین بود. بیشترین تفاوت از دیدگاه زیست‌محیطی میان روستای امامزاده جعفر با روستای ناصرآباد بود و از دیدگاه اقتصادی و اجتماعی بیشترین تفاوت میان روستای امامزاده جعفر و روستای مهاجرین بود.



شکل ۵- خوشه‌بندی روستاهای دشت امامزاده جعفر براساس طرح آبخیزداری.

Figure 5- Clustering of Villages in Dasht Imamzadeh Jafar Based on the Watershed Management Plan.

نتایج و بحث

تحلیل خوشه‌ای بر اساس نتایج شباهت‌های درون‌گروهی و تفاوت‌های برون‌گروهی است. هدف از تحلیل خوشه‌ای آن است که واحدهایی که ویژگی‌های مشابه دارند، در یک خوشه (گروه) باشند و از واحدهایی که ویژگی‌های متفاوت دارند، جدا شوند. نتایج تحلیل خوشه‌ای و آزمون‌های آماری گوناگون این پژوهش نشان‌دهندهٔ وضعیت دقیق سه روستای امامزاده جعفر، ناصرآباد و مهاجرین از دیدگاه‌های گوناگون زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بود. نتایج تحلیل خوشه‌ای نشان داد که وضعیت روستای امامزاده جعفر از دیدگاه زیست‌محیطی بهترین بود. این یافته بیانگر وجود شرایط مطلوب از دیدگاه حفاظت از منابع‌طبیعی و کیفیت محیط زیست است. از سوی دیگر، وضعیت روستای ناصرآباد از دیدگاه اقتصادی در مقایسه با دیگر روستاها بهتر بود. این موضوع نشان‌دهندهٔ وضعیت برتر این روستا از دیدگاه منابع مالی، اشتغال، کاهش مهاجرت، مهار سیلاب، افزایش درآمد و فرصت‌های شغلی است. اگرچه وضعیت روستای مهاجرین از دیدگاه زیست‌محیطی مناسب بود، اما وضعیت این روستا از دیدگاه اقتصادی و اجتماعی در مقایسه با دو روستای دیگر نامناسب‌تر بود. همچنین، تفاوت‌های معناداری میان این روستاها از دیدگاه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی مشاهده شد. مثلاً، از دیدگاه اقتصادی بیشترین تفاوت میان روستای امامزاده جعفر با روستای ناصرآباد بود و از دیدگاه اجتماعی نیز بیشترین تفاوت میان روستای امامزاده جعفر با روستای مهاجرین بود. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که هر روستا در یک جنبه خاص (زیست‌محیطی یا اقتصادی) برتری دارد و روستای مهاجرین نیاز به توجه بیشتری در زمینه مسائل اقتصادی و اجتماعی دارد. وجود تفاوت‌های معنادار بین روستاها در جنبه‌های مختلف، نشان می‌دهد که هر کدام نیازمند راهکارهای توسعه متناسب با شرایط خاص خود هستند. این یافته با نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۱۴۰۲) هم‌خوانی دارد.

نتایج آزمون‌های تعقیبی (Dependent) و (Tamhane) نشان‌دهندهٔ تفاوت‌های معنادار از دیدگاه‌های گوناگون میان روستاهای بررسی شده بود. به‌ویژه از دیدگاه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی، وضعیت روستای امامزاده جعفر در مقایسه با دیگر روستاها برتر بود. از دیدگاه زیست‌محیطی، تفاوت میان روستای امامزاده جعفر و ناصرآباد معنادار بود. همچنین، تفاوت میان امامزاده جعفر و مهاجرین در سطح یک درصد بود که این یافته نشان‌دهندهٔ وضعیت برتر زیست‌محیطی این روستا بود. همچنین، از دیدگاه اجتماعی، تفاوت میان روستای امامزاده جعفر در مقایسه با ناصرآباد و مهاجرین معنادار بود. از دیدگاه اقتصادی، با وجود اینکه برخی از تفاوت‌ها معنادار نبود،

اما مقایسهٔ وضعیت امامزاده جعفر با ناصرآباد در سطح یک در صد نشان‌دهندهٔ تفاوت‌های اساسی اقتصادی بود. این یافته با نتایج پژوهش نرگسی و همکاران (۲۰۱۷) هم‌خوانی دارد. افزون بر این، نتایج آزمون همبستگی میان متغیرهای گوناگون بررسی‌شده (مانند تحصیلات، سابقهٔ سکونت، سطح زیر کشت و اندازهٔ درآمد) با جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی بیانگر همبستگی‌های ضعیف ولی معنادار بود. این رابطه‌ها بیشتر اجتماعی و اقتصادی بودند. درحالی‌که تأثیر این متغیرها بر محیط زیست کمتر محسوس بود. به‌طورکلی، نتایج تحلیل‌ها نشان داد تفاوت وضعیت این روستاها از دیدگاه اجتماعی و اقتصادی کم اما معنادار بود و با متغیرهایی مانند تحصیلات، سابقه سکونت، سطح زیر کشت و اندازهٔ درآمد مرتبط بود. بنابراین، باید به همه جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توجه داشت. این یافته با نتایج پژوهش کاسترو و همکاران (۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اقدامات آبخیزداری نقش اساسی در مدیریت صحیح و کارآمد آبخیزها و منابع‌طبیعی ایفا می‌کند. با توجه به چالش‌های جهان امروز، مانند تغییرات اقلیمی و رشد جمعیت، اهمیت به‌کارگیری اصول آبخیزداری بیش‌ازپیش روشن است. ازاین‌رو، توسعه هدفمند فعالیت‌های آبخیزداری، اثرات مثبت قابل‌توجهی بر سطح آب‌های زیرزمینی، دائمی بودن آب در چاه‌ها، در دسترس بودن آب برای دیگر مصارف خانگی و غیره دارد. بر اساس نتایج آزمون تعقیبی (Dependent) و (Tamhane) وضعیت روستای امامزاده جعفر از دیدگاه اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی در مقایسه با دو روستای بهتر بود. همچنین، وضعیت روستای ناصرآباد نیز از همه دیدگاه‌ها در مقایسه با روستای مهاجرین بهتر بود. نتایج تحلیل خوشه‌بندی نشان داد که وضعیت روستای امامزاده جعفر از همه دیدگاه‌ها از دو روستای دیگر بهتر بود. همچنین، بهترین وضعیت زیست‌محیطی مربوط به روستای امامزاده جعفر و مهاجرین بود. یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در هر طرح آبخیزداری اثرات زیست‌محیطی آن است و باید به آن توجه شود. بر پایهٔ نتایج این پژوهش، طرح آبخیزداری امامزاده جعفر از دیدگاه توجه به مسائل زیست‌محیطی موفق بوده است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود، در مراحل مختلف پژوهش و اجرای طرح‌های آبخیزداری به دیدگاه‌ها و درخواست‌های منطقی آبخیزنشینان اهمیت‌داده شود تا بتوان در اجرای طرح از دیدگاه جوامع محلی استفاده کرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود به‌دنبال افزایش گردشگر پس از اجرای طرح، بودجهٔ لازم برای گسترش یا بهبود زیرساخت‌های ارتباطی و رفاهی منطقه افزایش یابد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود، در مراحل مختلف پژوهش و اجرای طرح‌های آبخیزداری به دیدگاه‌ها و درخواست‌های منطقی آبخیزنشینان اهمیت‌داده شود تا بتوان در اجرای طرح از دیدگاه جوامع محلی استفاده کرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود به‌دنبال افزایش گردشگر پس از اجرای طرح، بودجهٔ لازم برای گسترش یا بهبود زیرساخت‌های ارتباطی و رفاهی منطقه افزایش یابد.

تضاد منافع نویسندگان

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

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از مردم خوب روستاهای امامزاده جعفر، ناصرآباد و مهاجرین به‌پاس همکاری در پاسخ به پرسش‌نامه‌ها سپاسگزاری نمایند.

دسترسی به داده‌ها

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

مشارکت نویسندگان

آیت‌الله کرمی: تحلیل و بررسی رسمی منابع، نرم‌افزار، ویرایش نسخه خطی

مصطفی احمدوند: مفهوم‌سازی و روش‌شناسی

فاطمه علی‌پناهیان: نگارش و تهیه پیش‌نویس اصلی

فهرست منابع

Aghili K, Aghaei-Moghadam A, Aghili M, Haqparest S. 2020. Evaluation of the social-economic effects of raising rainbow trout in golestan dam cages. Scientific Journal of Aquaculture Development. 14(3): 71–85. (In Persian).

Anderson R. 2010. Systematic reviews of economic evaluations: utility or futility? Journal Health Economics. 19(3): 350–364. https://doi. org/10.1002/hec .1486

Anulika NP, Osaze O, Abiola AH, Ignatius EO. 2015. The role of environmental impact assessment in environmental sustainability of onitsha metropolis in anambra state. Nigeria. International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research. 3(11): 109–114.

Ayivi F, Jha MK. 2018. Estimation of water balance and water yield in the Reedy Fork-Buffalo Creek Watershed in North Carolina using SWAT. International Soil and Water Conservation Research. 6(3): 203–213. https://doi.org/10.1016/j.is wcr.2018.03.007

Brouwer WB. 2019. The inclusion of spillover effects in economic evaluations: not an optional extra. Pharmacoeconomics. 37(4):451– 456. https://doi. org/10.1007/ s40273-018-0730-6

Castro AJ, Vaughn CC, Julian JP, García-Llorente M. 2016. Social demand for ecosystem services and implications for watershed management. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 52(1): 209–221. https://doi. org/10.1111/1752-1688.12379

Esteves AM, Franks D, Vanclay F. 2012. Social impact assessment: the state of the art. Impact Assessment and Project Appraisal. 30(1): 4–34. https://doi.org/10.1080/14615517.2012.660356

Hamel P, Bremer LL, Ponette-Gonzalez AG, Acosta E, Fisher JR, Steele B, Brauman KA. 2020. The value of hydrologic information for watershed management programs: The case of Camboriú, Brazil. Science of the Total. Environment. 705(1): 1- 11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135871

Hasni H, Maliki M. 2020. Economic and social analysis of the effects of watershed operations on watershed residents (Case study: Hasan Abdal Watershed-Zanjan Province). Watershed Management Journal. 11(21): 143–153. (In Persian).

Heydari H. Shakiba A. Thuqe-Nairy K. Haj Alizadeh A. 2013. Clustering the capacity and potential of development of villages in Malekshahi County based on socio-economic indicators. Quarterly Journal of Rural Development Strategies. 10(1): 125-143. (In Persian).

Ibrahim AA, Sani A, Gado AM, Ibrahim MA, Sulaiman MS, Zungum IU. 2020. Environmental impact assessment in Nigeria-A review. World Journal of Advanced Research and Reviews. 8(3): 330-336. https://doi.org/10.30574/wjarr.2020.8. 3.0487

Jamali AA, Hassanzadeh-Nafouti M, Raisi N. 2013. The impact of watershed management activities on socio-economic issues of Metesang watershed of Nikshahr city. 9th National Conference of Iran Watershed Science and Engineering. Yazd. October 30. (In Persian).

Jay S, Jones C, Slinn P, Wood C. 2007. Environmental impact assessment: Retrospect and prospect. Environmental Impact Assessment Review. 27(4): 287–300. https://doi.org/10.1016/j. eiar .2006.12.001

Kalantari Kh. 2006. The book of data processing and analysis in social and economic research. 388 p. (In Persian).

Karimi M. 2015. Easy guide to statistical analysis with spss. publishing when First Edition. Tehran Iran. 318 p. (In Persian).

Katusiime J, Schütt B. 2020. Linking land tenure and integrated watershed management-A review. Sustainability. 12(4):1667. https://doi.org/10.3390/su12041667.

Krejcie RV, Morgan DW. 1970. Determinig sample size for research activies. Educational and Psychological Measurement. 30:607-610.

Kumar GS, Kurothe VC, Pande Rao AK, Vishwakarma Bagdi1, Mishra PK. 2014. Watershed impact evaluation using remote sensing. Current. Science. 106(10): 1–10. https://doi.org/10.18520/cs%2Fv106%2Fi10%2F1369-1378

Maddi A, Maleki M. 2018. Assessing the socio-economic effects of implemented natural resources projects from the point of view of the beneficiaries (Case study: Andabil Watershed-Khalkhal City) Marte' Scientific Research Journal. 12(3): 267–280. (In Persian).

Mehrdost Kh, Shams A, Karmidehkordi A. 2013. Factors affecting the participation levels of rural people in watershed projects (Case study: Darood Faraman and Lalabad Watersheds of Kermanshah City). Economic Research and Agricultural Development of Iran. 44(3): 409–399. (In Persian).

Nargesi Z, Fatahi M, Sheikhi, H. 2017. (Identifying the economic, social, cultural and environmental consequences of dam construction from the perspective of residents (Case study: Kangir Dam, Ivan County: Upper

and Lower Sartang Village). Applied Research in Management and Accounting. 8(2): 106-126. (In Persian).

Nowacki J, Viliani F, Martuzzi M, Fehr R. 2014. Health in Impact Assessments– Opportunities not to be missed. The European Journal of Public Health, 24(suppl2): cku166–136. https://iris.who.int/handle/ 10665/137369

Ohno T, Tanaka T, Sakagami M. 2010. Does social capital encourage participatory watershed management? An analysis using survey data from the Yodo River watershed. Society and Natural Resources. 23(4): 303–321. https://doi.org/10.1080/ 08941920802078224

Palanisami K, Kumar DS. 2009. Impacts of watershed development programmes: experiences and evidences from Tamil Nadu. Agricultural. Agricultural Economics Research Review. 22(1): 387-396.

Reddy VR, Saharawat YS, George B. 2017 Watershed management in South Asia: A synoptic review. Journal of hydrology. 551: 4-13.

Sýs V, Fošumpaur P, Kašpar T. 2021. The impact of climate change on the reliability of water resources. Climate. 9(11):1- 15.

Tanaka T, Tachikawa Y, Ichikawa Y, Yorozu K. 2018. Flood risk curve development with probabilistic rainfall modelling and large ensemble climate simulation data: A case study for the Yodo River basin. Hydrological Research Letters. 12(4): 28–33. https://doi.org/10.3178/ hrl.12.28

Uniyal B, Jha MK, Verma AK, Anebagilu PK. 2020. Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management. Science of the Total Environment, 744:1-41.

Van Liew MW, Veith TL, Bosch DD, Arnold JG. 2007. Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: comparison on USDA agricultural research service watersheds. Journal of Hydrologic Engineering. 12(2):173–189. https://doi. org/10.1061/(ASCE)10840699

Vanclay F. 2002. Conceptualising social impacts. Environmental Impact Assessment Review. 22(3): 183–211. https://doi.org/10.1016/S0 1959255(01)00105-6

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(1):967–994.

Yazdani M, Jalalian H, Pari-Zanganeh A. 2009. Evaluation of socio-economic and environmental effects of watershed management projects (Case study: Zanjanrud Management Plan). Geography (Scientific-Research Journal of the Iranian Geography Association). 21(20): 81–96. (In Persian).

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Socio-economic and environmental impacts assessment of the watershed plan of the Imamzadeh Jafar plain in the Gachsaran County

Ayatollah Karami*[1], Mostafa Ahmadvand[2], Fatemeh Alipanahiyan[3]

1. Professor, Department of Rural Development Management, Yasouj University, Yasouj, Iran
2. Professor, Department of Rural Development Management, Yasouj University, Yasouj, Iran
3. Ph.D. Student of Agricultural Development, Yasouj University, Yasouj, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

The targeted watershed management activities serve as a comprehensive solution to reduce the negative impacts of floods and combat climate change, play a vital role in ensuring water security, improving livelihoods and the quality of life of communities. In the near future, these approaches can help improve the resilience of communities to environmental challenges and facilitate sustainable development. Also, climate change and increase in the intensity and frequency of floods directly affect food security, public health and social development. To reduce the impacts of these phenomena, it is necessary to study climate change and plan appropriately for watershed management and apply climate adaptation methods. And with proper groundwater recharge, it increases water security and agriculture. Improving ecosystem services through watershed management activities, on the one hand, ensures water resources and a healthy environment, and on the other hand, improves the sustainable economic and livelihood development of local communities. Additionally, Watershed management plays an important role in the management of water and soil resources and is very effective in sustainable rural development, and assessing its effects is essential. This study was conducted to investigate the socio-economic and environmental effects of the Imamzadeh-Jafar watershed management project from the perspective of the beneficiary villagers. The present research is applied in purpose, field-based in terms of variable control, and descriptive-analytical in nature.

Materials and Methods

Data collection was conducted through a survey and a questionnaire was used to gather data. The statistical population of the study included farmers and ranchers from the villages of Naserabad, Mohajerin, and Imamzadeh Jafar in Gachsaran County, totaling 120 individuals. According to the Krejcie and Morgan table, a suitable sample size for this population is 90 people, chosen through simple random sampling. The data was analyzed using SPSS software.

Article Type: Research Article
***Corresponding Author's E-mail:** ayatkarami@yu.ac.ir
Citation: Karami, A., Ahmadvand, M., Alipanahiyan, F. 2025. Assessment of the socio-economic and environmental impacts of the watershed plan of the Imamzadeh Jafar Plain in the Gachsaran County. Watershed Management Research. 38(2): 20-37.
DOI: 10.22092/WMRJ.2025.363070.1594
Received: 23 September 2024, **Received in revised form**: 29 January 2025, **Accepted**: 18 March 2025
Published online: 22 June 2025
Watershed Management Research, VOL.38, No.2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 20-37.
Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
©Author(s)

The Cronbach's alpha for social factors was 0.86, for economic factors was 0.87, and for environmental factors was 0.80. The components of the questionnaire consisted of personal characteristics, as well as economic, social, and environmental indicators. Additionally, the questionnaire was structured using a five-point Likert scale (1 = very low, 2 = low, 3 = moderate, 4 = high, and 5 = very high). To analyze the data, both descriptive and inferential methods were employed. In the descriptive method, after calculating the mean and standard deviation, the coefficient of variation was obtained, and the indicators for each factor were prioritized based on the coefficient of variation. Then, the correlation coefficient was used to determine relationships, a post-hoc test was employed to interpret the significance of mean differences among groups, and cluster analysis was utilized for grouping.

Results and Discussion

According to the results of the follow-up test, there is no significant environmental difference between the villages of Mohajerin and Naserabad; But between Imamzadeh-Jaafar and Naserabad, as well as Imamzadeh-Jaafar and Mohajerin, a significant difference is observed at the level of one percent. In the analysis of social factors, there is no significant difference between the immigrants and Naserabad, but between Imamzadeh-Jaafar and both villages, a significant difference can be seen at the level of 0.99%. From the economic point of view, there is no significant difference between the villages of Mohajerin and Nasirabad, and between Imamzadeh-Jaafar and Mohajerin, but there is a significant difference between Imamzadeh-Jaafar and Naserabad at the level of one%. Finally, the correlation coefficient between cultivated area and economic factors is 0.39, which shows a significant but relatively weak relationship.

Conclusion and Suggestions

Given the results from the follow-up tests (Dependent) and (Tamhane), Imamzadeh Jafar village is in a better environmental, social, and economic condition compared to the other two villages. Additionally, the status of Naserabad village was also better in all perspectives compared to Mohajerin village. Cluster analysis results indicate that overall, Imamzadeh Jafar village is better across all dimensions compared to the other two villages. Also, from an environmental perspective, Imamzadeh Jafar and Mohajerin have the best conditions. One of the most important aspects that any watershed management project should consider is its environmental impacts. As shown by the results of this study, the Imamzadeh Jafar watershed management project has been successful in addressing environmental issues. It is recommended that during various stages of planning and implementing watershed projects, the logical opinions and requests of watershed residents should be considered, and local community inputs should be used. Also, considering the increase in tourism following the project's implementation, necessary funds for expanding or improving the region's connectivity and amenities infrastructure should be increased.

Keywords: Flood, assessment, farmers, basin, groundwater

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to thank the people of the villages of Imamzadeh Jafar, Naserabad and Mohajerin for their cooperation in answering the questionnaires.

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.

Author's Contribution

Ayatollah Karami: Formal analysis and investigation Resources, Software, Manuscript editing.
Mostafa Ahmadvand: Conceptualization, methodology.
Fatemeh Alipanahiyan: Writing and original draft preparation.

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

بهینه‌سازی شبکهٔ پایش کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری و MCDM

حمید غلامی[۱*]، شهرام گلزاری[۲]، علی‌اکبر محمدی‌فر[۳]، حوریه زحمتکش[۴]، مریم زارع[۵]

۱- استاد گروه مهندسی منابع‌طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران و دانشیار هستهٔ پژوهشی یادگیری عمیق، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران

۳- پژوهشگر پسا دکتری گروه مهندسی منابع‌طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۴ و ۵- کارشناس شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

آب‌های زیرزمینی در تأمین نیازهای جوامع در بخش‌های گوناگون شرب، صنعت و کشاورزی و غیره نقش مهمی دارد. اهمیت این منابع حیاتی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کاهش نزولات جوی مواجه هستند، دوچندان است. زیرا، در این مناطق آبخوان‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین منابع تأمین آب جوامع به‌شمار می‌آیند. همچنین، به‌دلیل موقعیت مکانی این منابع در مناطق ساحلی، با اثرات زمینی و تغییرات آب و هوایی دریایی مواجه هستند و همزمان نیز تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌باشند. ازاین‌رو، آگاهی از ویژگی‌های کمی و کیفی سفره‌های آب زیرزمینی و پایش آن‌ها موضوع بسیار ضروری تلقی می‌شود. پایش پیوستهٔ شبکهٔ آب زیرزمینی مستلزم صرف هزینه، وقت، کار و نیروی انسانی است و بهینه‌سازی شبکهٔ پایش می‌تواند راهکار مفیدی برای کاهش مشکلات نامبرده باشد. بنابراین، پژوهش با هدف بهینه‌سازی شبکهٔ پایش آب زیرزمینی در دشت گهکم سعادت‌آباد استان هرمزگان با استفاده از روش‌های آماری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا با استفاده از بررسی منابع، دستورالعمل‌های وزارت نیرو و استفاده از دیدگاه خبرگان آب زیرزمینی، ۹ معیار (میانگین سالانهٔ سطح آب زیرزمینی، میانگین سالانهٔ افت آب زیرمینی، هدایت آبی، تراکم چاه‌های

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی:** Hgholami@hormozgan.ac.ir

استناد: غلامی، ح.، گلزاری، ش.، محمدی‌فر ع.ا.، زحمتکش، ح.، زارع، م. ۱۴۰۴. بهینه‌سازی شبکهٔ پایش کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری و MCDM. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۲): ۶۱-۳۸.

شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.367105.1595

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۸/۲۴، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۹، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۳۸ تا ۶۱.

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

© نویسندگان

CC BY

بهره‌برداری، فاصله از رود، سازند زمین‌شناسی، کاربری زمین، فاصله از گسل و فاصله از چشمه و قنات) انتخاب شدند. سپس، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، هر کدام از معیارها وزن‌دهی شدند و نقشهٔ مربوط به هر یک از آن‌ها برای انجام فرایند مکان‌یابی تهیه شد. در این پژوهش، به‌منظور اجرای فرایند مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS و WASPAS استفاده شد. سپس، به منظور ارزیابی شبکهٔ پایش کنونی با نتایج مکان‌یابی، شبکهٔ تیسن مربوط به هر آبخوان رسم شد. همچنین، میانگین امتیاز نقشه‌های مکان‌یابی در هر پلیگون تیسن به‌دست آمد. برای هر چاه و هر پولیگون، چاه‌هایی که میانگین امتیاز کمتر از ۰/۳ داشتند، به‌عنوان چاه‌های نامناسب انتخاب شدند. سپس، به‌منظور اطمینان از صحت انتخاب چاه‌های نامناسب، آزمون همگنی پتیت و استاندارد بهنجارداده‌های آب زیرزمینی در چاه‌های نامناسب، اجرا شد. در گام بعد برای مشخص کردن اهمیت نسبی ۴۰ چاه موجود در منطقه از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد و چاه‌های با اهمیت نسبی کم، حذف شدند. سپس، برای آگاهی از اندازهٔ خطای استاندارد ناشی از حذف چاه‌ها، از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده شد. سرانجام، به‌منظور گروه‌بندی چاه‌ها با ویژگی‌های مشابه، عمل خوشه‌بندی آن‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که از میان ۹ معیار استفاده شده در پژوهش، معیار تراکم چاه‌های بهره‌برداری با وزن ۰/۲۱۷ و معیار فاصله از گسل با وزن ۰/۰۳۱ به‌ترتیب رتبهٔ اول و آخر را به‌دست آورده‌اند. مقایسهٔ مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای فرایند مکان‌یابی نیز بیانگر دقت یکسان هر دو مدل TOPSIS و WASPAS بود. ازاین‌رو، نقشهٔ میانگین دو مدل تهیه شد و برای انجام گام‌های بعدی پژوهش استفاده شد. بر پایهٔ نتایج ارزیابی شبکهٔ پایش کنونی با نتایج مکان‌یابی (شبکهٔ بهینه)، تعداد ۳ چاه به‌عنوان چاه‌های نامناسب شناسایی شد. همچنین، بر اساس اندازهٔ ارزش P value مربوط به آزمون پتیت و آزمون استاندارد بهنجار، مشخص شد که هر سه چاه به‌عنوان چاه‌های ناهمگن به‌درستی انتخاب‌شده‌اند. بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده از روش PCA نیز تعداد ۶ چاه (شمارهٔ ۸، ۹، ۱۵، ۱۰، ۳۲ و ۳۷) در گروه چاه‌های با اهمیت نسبی منفی بودند که این تعداد چاه حذف شدند. اندازهٔ خطای استاندارد پس از حذف چاه‌های کم اهمیت، ۱۴٪ افزایش یافت و تفاوت محسوسی ایجاد نشد. ازاین‌رو، بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان چاه‌های کم اهمیت را از شبکهٔ پایش حذف کرد. همچنین، ۴۰ چاه موجود در دشت گهکم سعادت‌آباد درون ۵ خوشه، طبقه‌بندی شدند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این پژوهش، بهینه‌سازی شبکهٔ پایش آب زیرزمینی از دیدگاه کمی و کیفی با استفاده از مدل‌های آماری و MCDM بود. نتایج بیانگر کارایی و دقت زیاد روش‌های MCDM بود. بر اساس نقشهٔ مکان‌یابی تولیدشده به‌وسیلهٔ مدل‌های نامبرده برای چاه‌های مشاهده‌ای، منطقهٔ مطالعه‌شده در ۵ گروه از اولویت بسیارکم تا اولویت بسیار زیاد طبقه‌بندی شد. ازاین‌رو، مدیران آبخیز می‌توانند از یافته‌های این پژوهش برای توسعهٔ شبکهٔ پایش و صدور مجوزهای جدید برای حفر چاه‌های جدید در مکان‌های مناسب و نامناسب استفاده کنند. همچنین، با توجه به اهمیت پایش آب در مناطق ساحلی، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای دیگر دشت‌های استان هرمزگان، نیز پیشنهاد می‌شود. به‌منظور مقایسهٔ روش‌های گوناگون آماری، آب‌شناختی و داده‌کاوی مانند مدل‌های یادگیری ماشینی، استفادهٔ هم‌زمان از آن‌ها در پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود. از سوی دیگر، در پژوهش‌های آینده برای ساخت شبکهٔ پایش آب زیرزمینی، استفاده از معیارهای مؤثر دیگری مانند معیارهای تحلیل اقتصادی و هزینهٔ ساخت شبکهٔ پایش، معیارهای فاصله و مجاورت با دریا و معیارهای فاصله و نزدیکی به مسیرهای ارتباطی نیز پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی

آب‌های زیرزمینی، پایش، گهکم سعادت‌آباد، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

مقدمه

اهمیت وجود آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان منابع محدود آب شیرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، حیاتی است. زیرا، در این مناطق رویدادهای تغییرات آب و هوایی، مانند خشکسالی‌های طولانی‌مدت، بخش جدایی‌ناپذیر برنامه‌ریزی استفاده از آب هستند (طاهری و همکاران ۲۰۲۰). نگرانی‌های مدیریت این منابع فقط مصرف و استخراج آب نیست، بلکه نظارت پیوسته بر کیفیت آب، از جمله آلودگی‌های طبیعی یا انسانی را نیز شامل می‌شود (طاهری و همکاران ۲۰۲۰). پایش آب‌های زیرزمینی و جمع‌آوری داده‌ها پیش‌نیاز مدیریت مؤثر منابع نامبرده است.

شاخص‌های اصلی استفاده‌شده در توسعه، مدیریت و برنامه‌ریزی آب‌های زیرزمینی، سطح و کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. این دو متغیر به‌عنوان شاخص‌هایی برای وضعیت یک منبع آب زیرزمینی استفاده شده‌اند و تعادل میان آب‌دهی‌های آن و تغذیه‌ها را منعکس می‌کنند (ال‌زوباری و همکاران ۲۰۲۳). پایش بلندمدت بدون توجه به بهینه‌سازی، سبب افزایش هزینه می‌شود. ازاین‌رو، طراحی شبکهٔ پایش منابع آب باید بر اساس اهداف مشخص و از پیش تعیین‌شده باشد (پیرسون و همکاران ۲۰۱۱). شبکه‌های پایش آب زیرزمینی اهمیت به‌سزایی دارند و طراحی شبکهٔ پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی یک گام ضروری در تشریح وضعیت سفرهٔ آب زیرزمینی است. اطلاعات استخراج‌شده از یک شبکهٔ پایش با طراحی صحیح باید نماینده‌ای قابل اعتماد از وضعیت کمی و کیفی آبخوان مطالعه‌شده باشد (پیرسون و همکاران ۲۰۱۱). در حالت کلی پایش آب‌های زیرزمینی به دو روش آماری و زمین‌شناسی انجام می‌شود (هلنا و همکاران ۲۰۰۰). روش‌های پیشرفته مانند زمین‌آمار، شبکهٔ عصبی و دستورالعمل ژنتیک مثال‌هایی از روش آماری است که بر پایهٔ روش‌های شبیه‌سازی، تحلیل پراکنش و احتمالاتی می‌باشند. از سوی دیگر، روش‌های زمین‌شناسی است که بر پایهٔ اطلاعات کمی و کیفی زمین‌شناسی و آب‌های زیرزمینی استوار است (لوکاس و جوزین ۲۰۰۸). روش‌های داده‌کاوی به‌عنوان سومین روش در پایش شبکه‌های آب زیرزمینی استفاده می‌شوند. روش‌های داده‌کاوی اطلاعات مربوط به نمونه‌ها را جمع‌آوری می‌کنند، تعمیم می‌دهند و برای آن‌ها تصمیم‌گیری می‌کنند (دمیرسی و همکاران ۲۰۲۱). به‌منظور مدیریت کارآمد کیفیت آب زیرزمینی، ابتدا باید مناطقی که منابع آب زیرزمینی زیاد و قابل توسعه دارند، بررسی شوند. برآورد و پیش‌میانی دقیق ویژگی‌های تولید آب زیرزمینی برای استفادهٔ بهینه و مدیریت نظام‌مند منابع آب زیرزمینی ضروری است. برای به‌دست آوردن اندازه‌گیری‌های دقیق، روش‌های اکتشاف سنتی استفاده‌شده برای عامل‌های گوناگون مرتبط با آب‌های زیرزمینی، همراه با تعاملات پیچیدهٔ آن‌ها باید درنظر گرفته شود. این روش به زمان، هزینه و نیروی انسانی قابل توجهی برای پژوهش‌های میدانی نیاز دارد. افزون بر این، وجود آب‌های زیرزمینی در یک منطقهٔ ویژه به عامل‌های فهرست‌بندی‌شده در کلان داده‌ها مانند پستی‌بلندی، ساختارهای زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، تراکم شکست، اتصال، شیب، ظرفیت آب زیرزمینی و تغییرات این عامل‌ها بر اساس شرایط اقلیمی بستگی دارد (لی و همکاران ۲۰۱۹). اگرچه می‌توان با روش‌های فیزیکی سطح آب‌های زیرزمینی را محاسبه کرد، اما محدودیت‌های عملی در استفاده از آن‌ها وجود دارد (دمیرسی و همکاران ۲۰۲۱).

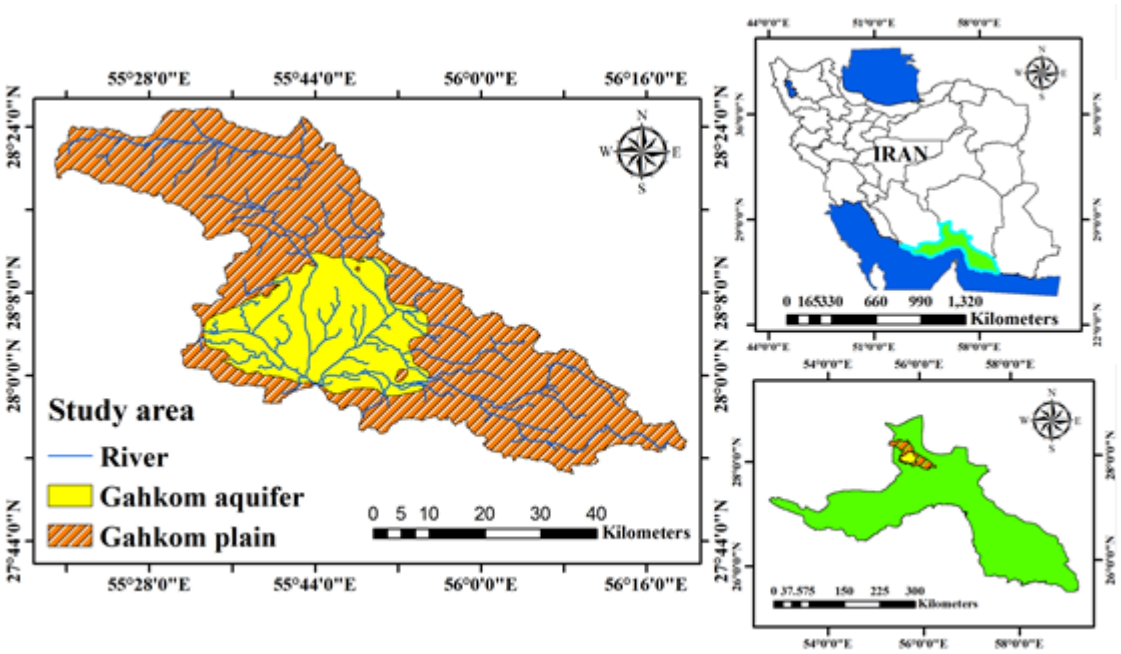
به روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان یکی از ابزارهای مدیریتی امروزه بسیار توجه شده است. از مزایای این روش‌ها می‌توان به قابلیت استفاده در تحلیل و پشتیبانی تصمیمات گوناگون حتی در شرایطی که اهداف چندگانه و متناقض وجود دارد، اشاره کرد (سوری و همکاران ۲۰۱۷). استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در زمینهٔ مدیریت و پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به‌وسیلهٔ محققان، نتایج ارزشمندی به‌همراه داشته است. در دهه‌های گذشته انواع گوناگونی از این مدل‌ها توسعه‌یافته است که هر یک از آن‌ها ساختار و دامنه کاربرد متفاوتی دارند. در این مدل‌ها از رویکرد منطقی

و ساختاریافته برای مدل‌سازی مسائل تصمیم‌گیری پیچیده استفاده می‌کنند و با استفاده از آنها می‌توان با در نظر گرفتن معیارهای پرشمار کمی و کیفی، بهترین گزینه را از میان چندین گزینه انتخاب کرد. (حاجی‌زادگان ۲۰۱۵). منابع آب زیرزمینی در مناطق ساحلی که معمولا به‌عنوان مرکز توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی در نظر گرفته می‌شوند، اهمیت زیادی دارند. زیرا، توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی در این مناطق وابسته به در دسترس بودن منابع آب است (هان و کورل ۲۰۲۱). همچنین، در مناطق ساحلی به‌دلیل موقعیت مکانی این منابع، با اثرات زمینی و تغییرات آب و هوایی دریایی مواجه هستند و هم‌زمان نیز تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌باشند (ریچاردسون و همکاران ۲۰۲۴). استان هرمزگان به‌عنوان یکی از مناطق ساحلی کشور جز اقلیم‌های خشک و کم باران به‌شمار می‌آید. از آنجایی که در تأمین آب لازم برای انسان در مصارف گوناگون، آبخوان‌ها نقش مهمی دارند، ازاین‌رو، اهمیت پایش آب‌های زیرزمینی در این مناطق دوچندان است. تاکنون پژوهش‌های پرشماری در زمینهٔ پایش آب‌های زیرزمینی انجام‌شده است. در این راستا، استادعلی‌عسکر و شایان‌نژاد (۲۰۲۱) در بررسی تغییرات سطح و کیفیت آب زیرزمینی در سفرهٔ آبخوان اصفهان- برخوار دریافتند، در نواحی پیرامون دریاچهٔ در بخش‌های مرکزی به‌دلیل تبخیر آبخوان برخوار-اصفهان و ساختار زمین‌شناسی منطقه، غلظت TDS به‌مراتب بیشتر بود و از سوی دیگر، هم در دورهٔ خشک‌سالی و هم به‌دلیل افزایش بهره‌برداری از چاه‌های آبکشی، سطح آب سالانه ۰/۵ تا ۰/۱ متر بر ثانیه کاهش یافت و باعث نابودی سفرهٔ آب زیرزمینی شد. در هند، راویندرا و همکاران (۲۰۲۳) کیفیت آب زیرزمینی را به‌منظور ارزیابی سطوح آلودگی با استفاده از روش‌های WPI و WQI در بخشی از منطقهٔ گونتور پایش و بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد کیفیت این آب زیرزمینی برای مصارف شرب مناسب نیست. ازاین‌رو، این پژوهشگران اقدام‌های پیشگیرانه (تأمین آب آشامیدنی سالم، نمک‌زدایی، فلوریداسیون، نیترات‌زدایی، مواد غذایی کلسیم و برداشت آب باران) را برای محافظت از سلامت انسان پیشنهاد کردند. بوت و همکاران (۲۰۲۳) در ارزیابی وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت ساحلی غیس نکور از ترکیب روش‌های آماری و ابزارهای نقشه برداری GIS استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که آنیون‌های محلول مهم ارزیابی‌شده در آب‌های زیرزمینی منطقهٔ نامبرده در دامنهٔ معیارهای تعیین‌شده برای مصرف انسانی، نیست. حسین و همکاران (۲۰۲۴) منابع آب زیرزمینی برای تأمین آب آشامیدنی در منطقهٔ حومهٔ شهری داکا، بنگلادش را از نظر کمی و کیفی ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد بیشترین نرخ کاهش سطح آب زیرزمینی (۱/۱۸ متر در سال) نزدیک مناطق صنعتی بود و بیشترین تغذیه آب زیرزمینی (۴۸۰ میلی‌متر در سال) در زمین‌های کشاورزی روستایی و کمترین تغذیه (۲۲۰ میلی‌متر در سال) در مناطق شهری بود. همچنین تجزیه و تحلیل مؤلفهٔ اصلی و نتایج خوشه‌بندی سلسله مراتبی این پژوهش نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر تعامل سنگ-آب و مداخلات انسانی است. در پژوهشی رجائیان و همکاران (۲۰۲۴) تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی را با استفاده از MODFLOW و MT3DMS در آبخوان هشتگرد، ایران بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد با مسدود کردن چاه‌های غیرمجاز و اصلاح پروانهٔ چاه‌های مجاز، میانگین ذخیره‌سازی ۷/۲۳ میلیون مترمکعب در سال افزایش یافت و غلظت نیترات و سولفات ۰/۰۶ و ۱/۱۴ میلی‌گرم کاهش یافت. نتایج پژوهش‌های نامبرده بیانگر آن است که بیشتر پژوهش‌ها در زمینهٔ ارزیابی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان‌ها اجراشده است و به بهینه‌سازی تعداد چاه‌های آب زیرزمینی کمتر توجه‌شده است. از سوی دیگر، بهینه‌سازی آبخوان‌ها می‌تواند در کاهش هزینه و صرفه‌جویی در زمان و سهولت دست‌یابی به پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی نقش مهمی ایفا کند. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف بهینه‌سازی شبکهٔ پایش کمی و کیفی آب زیرزمینی در دشت گهکم سعادت آباد انجام شد.

مواد و روش‌ها

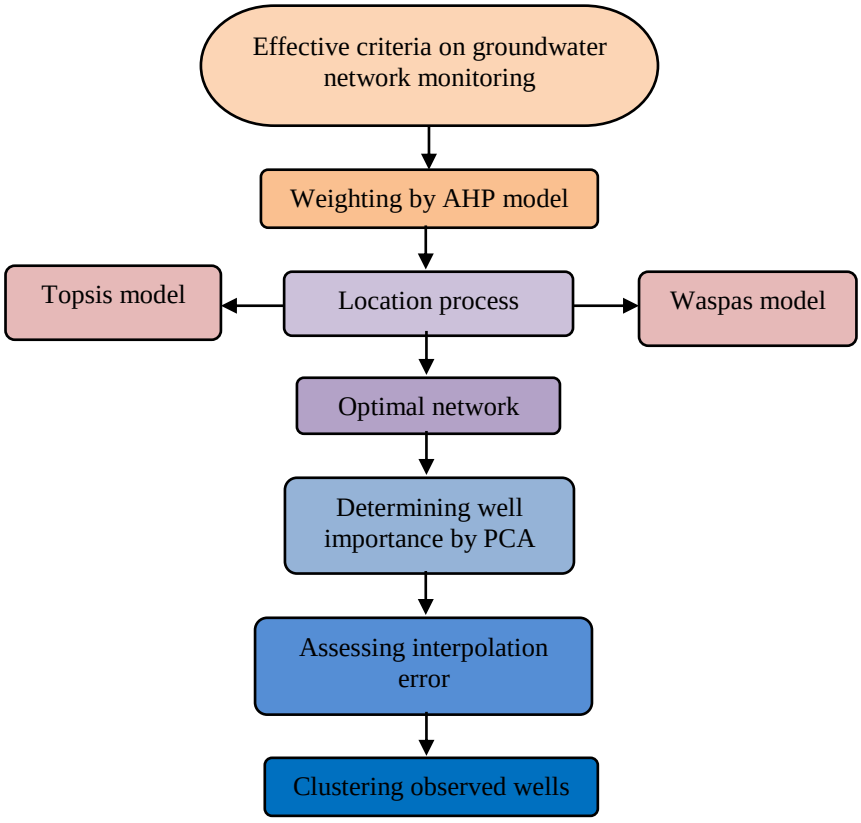
معرفی منطقهٔ مطالعه شده

منطقهٔ گهکم سعادت‌آباد با کد ۲۷۱۱ در شرق آبخیز کل- مهران و جزایر خلیج فارس است. مساحت این محدوده ۲۳۸۲/۶ کیلومتر مربع است که ۱۶۳۸/۱ کیلومتر مربع از آن در بلندی‌ها و ۷۴۴/۵ کیلومتر مربع در دشت است. مساحت آبخوان این محدوده ۶۱۰/۴ کیلومتر مربع شامل دو آبخوان گهکم سعادت آباد و سیرمند است. اندازهٔ میانگین سالانهٔ بارش در آبخوان ۲۳۴ میلی‌متر و اندازهٔ تبخیر در این محدوده در طبقهٔ ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌متر است (نگارندگان). موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده در شکل ۱ و روندنمای پژوهش در شکل ۲ نشان‌داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده در استان هرمزگان و ایران.

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



شکل ۲- روندنمای پژوهش.
Figure 2- Research diagram.

روش پژوهش

انتخاب و وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری نیازمند تعیین معیارهای تأثیرگذار بر فرایند مکان‌یابی می‌باشد. در این پژوهش، پس از بررسی پژوهش‌های پیشین و دستورالعمل‌های وزارت نیرو و استفاده از دیدگاه خبرگان آب زیرزمینی، ۹ معیار شامل: میانگین سالانهٔ سطح آب زیرزمینی، میانگین سالانهٔ افت آب زیرمینی، هدایت آبی، تراکم چاه‌های بهره‌برداری، فاصله از رود، سازند زمین‌شناسی (جدول ۱)، کاربری زمین، فاصله از گسل و فاصله از چشمه و قنات انتخاب شدند. سپس، برای فرایند وزن‌دهی، نقشهٔ هر یک از آن‌ها تهیه شد. در این پژوهش از روش AHP برای وزن‌دهی عامل‌ها استفاده شد. از روش AHP در زمینهٔ مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی به‌طور فراوانی استفاده می‌شود که نتایج قابل قبولی به‌همراه دارد. در این روش ابتدا پرسش‌نامه‌ها به‌وسیلهٔ افراد واجد شرایط تکمیل می‌شود. سپس، تصمیم‌گیرنده برای هر جفت از عامل‌های درگیر، مقایسه انجام می‌دهد. در این گام، ابتدا به‌شکل توصیفی و در گام بعد به‌شکل کمی (بر اساس جدول ۲) در ۹ مقیاس مقایسه انجام می‌شود (ساعتی ۲۰۰۰). سرانجام، از نتایج مقایسهٔ انجام‌شده، ماتریس باینری به‌دست می‌آید و وزن معیارها که اعدادی نسبی هستند، با قضاوت‌های شفاهی که به‌شکل شفاهی، عددی یا گرافیکی انجام شده‌اند، به‌دست می‌آید (خیرخواه‌زرکش ۲۰۰۵). در پایان، نتایج مقایسه‌ها برای محاسبهٔ شاخص ناسازگاری به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌شود. اگر شاخص ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، نتایج قابل قبول است و غیر از آن در وزن‌دهی تجدیدنظر می‌شود (ساعتی ۲۰۰۰).

جدول ۱- توصیف سازندهای زمین‌شناسی در منطقهٔ مطالعه‌شده.

Table 1- Descriptions of the lithology formations in the study area.

GEO-UNIT	Description	Age
EOas-ja	Undivided Asmari and Jahrum Formation, regardless to the disconformity separates them	Paleocene-Oligocene
Mmn	Low weathering gray marls alternating with bands of more resistant shelly limestone (MISHANFM)	Miocene
MuPlaj	Brown to grey, calcareous, feature-forming sandstone and low weathering, gypsum- veined, red marl and siltstone (AGHAJARIFM)	Miocene
OMr	Red, grey, and green silty marls interbedded with subordinate silty limestone and minor sandstone ribs (RAZAKFM)	Oligocene-Miocene
Plbk	Alternating hard of consolidated, massive, feature forming conglomerate and low -weathering cross bedded sandstone (BAKHTYARIFM)	Pliocene
Qft2	Low level Piedmont fan and Valley terrace deposits	Quaternary
pC-Ch	Rock salt, gypsum & blocks of contorted masses of sedimentary material such as black laminated fetid limestone, brown cherty dolomite, red sandstone & variegated shale in association with igneous rocks such as diabase, basalt, rhyolite and trachyte	PreCambrian-Cambrian

جدول ۲- اندازه‌های عددی قضاوت‌های کلامی برای مقایسه‌های زوجی.

Table 2- Numerical values of verbal judgments for pairwise comparisons.

Preferences (Verbal Judgments)	Numerical Value
Absolutely more preferred/important/desirable	9
Very strongly preferred/important/desirable	7
Strongly preferred/important/desirable	5
Slightly more preferred/important/desirable	3
Equally preferred/important/desirable	1
Intermediate preferences	2, 4, 6, and 8

اجرای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

انواع گوناگونی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) وجود دارد که در دهه‌های گذشته به‌وسیلهٔ پژوهشگران پرشماری توسعه یا بهبود یافته‌اند. تفاوت‌های اصلی این روش‌ها به سطح پیچیدگی دستورالعمل‌ها، روش‌های وزن‌دهی برای معیارها، شیوهٔ نمایش معیارهای ارزیابی ترجیحات، امکان نامشخص داده‌ها و نوع تجمیع داده‌ها مربوط می‌شود (باچکیویچ و همکاران ۲۰۲۱، طاهردوست و معدن‌چی ۲۰۲۳). در این پژوهش از دو مدل TOPSIS و WASPAS استفاده شد. ازاین‌رو، پس از محاسبهٔ وزن معیارها و تهیهٔ نقشه‌های رستری، ماتریس تصمیم‌گیری برای اجرای مدل‌های نامبرده آماده شد.

در این پژوهش بر خلاف دیگر پژوهش‌های تکراری محاسبات بر اساس پیکسل‌ها انجام شد و پیکسل‌ها به‌عنوان گزینه‌های مدل‌ها در نظر گرفته شدند. بر این اساس در آبخوان گهکم سعادت‌آباد تعداد ۷۶۵۰۴ پیکسل برای رتبه‌بندی به‌کار برده شد. همچنین، با توجه به تعداد زیاد گزینه‌ها از زبان برنامه‌نویسی پایتون برای اجرای مدل‌ها استفاده شد.

مدل TOPSIS

مدل TOPSIS یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است و بر این مفهوم استوار است که جایگزین انتخاب‌شده باید کوتاه‌ترین فاصلهٔ هندسی را از راه حل ایده‌آل مثبت و طولانی‌ترین فاصلهٔ هندسی را از راه حل ایده‌آل منفی داشته باشد (لی و همکاران ۲۰۲۲). در این پژوهش گام‌های اجرای این مدل

به‌شرح زیر بود (سو و همکاران ۲۰۱۶، سان و همکاران ۲۰۲۰).

گام اول: با استفاده از رابطهٔ ۱ ماتریس تصمیم ایجاد شد.

(۱)

$$A=\begin{array}{c} \\ M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_m \end{array}\begin{array}{c} F_1 \quad F_2 \quad \dots \quad F_j \quad \dots \quad F_n \\ \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & & C_{1j} & & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2j} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \cdots & C_{ij} & \cdots & C_{in} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & & C_{mj} & & C_{mn} \end{bmatrix}\end{array}$$

M_i:نمونهٔ iام $(i= 1, 2, \dots, m)$، F_j: عامل jام $(j=1, 2,\dots,n)$، C_{ij}: اندازه‌های عملکرد هر یک از M_iام با سنجهٔ مربوطه F_j است.

گام دوم: رابطهٔ استاندارد برای شاخص مثبت و منفی به ترتیب با استفاده از رابطه ۲ و ۳ تعیین شد.

(۲)

$$X_{ij} = (Z_{ij} - \mathrm{Min}(Z_j))/(\mathrm{Max}(Z_j) - \mathrm{Min}(Z_j))$$

(۳)

$$X_{ij} = (\mathrm{Max}(Z_j) - Z_{ij})/(\mathrm{Max}(Z_j) - \mathrm{Min}(X_j))$$

X_{ij}: iامین هدف ارزیابی $(i = 1, 2,\dots, n;\ j = 1, 2,\dots, m)$، اندازهٔ شاخص بهنجارشدهٔ jامین شاخص ارزیابی، و Z_{ij}: اندازهٔ دادهٔ اصلی شاخص است.

گام سوم: راه حل ایده‌آل مثبت و منفی به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ تعیین شد.

$$Y^+_j = \mathrm{Max}(X_{j1}, X_{j2}, \dots X_{jn}) \quad (۴)$$

$$Y^-_j = \mathrm{Min}(X_{j1}, X_{j2}, \dots X_{jn}) \quad (۵)$$

راه حل ایده‌آل مثبت:

$$(Y^+_j = (Y^+_1, Y^+_2 \dots, Y^+_m)$$

راه حل ایده‌آل منفی:

$$(Y^-_j = (Y^-_1, Y^-_2 \dots, Y^-_m) \quad)$$

گام چهارم: فاصلهٔ هر راه حل تا راه حل ایده‌آل مثبت و منفی به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبهٔ شد. سرانجام رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از رابطهٔ ۸ انجام شد.

$$S^*_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V^*_j)^2} \quad (۶)$$

$$S^-_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V^-_j)^2} \quad (۷)$$

$$C^*_i \frac{S^-_i}{S^-_i + S^*_i} \quad (۸)$$

اندازهٔ (C^*_i) میان ۰ و ۱ متغیر است. عدد ۱ بیانگر بیشترین رتبه و عدد صفر بیانگر پایین‌ترین رتبه است (قهرمان و همکاران ۲۰۰۷).

مدل WASPAS

مدل WASPAS یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در وظایف تصمیم‌گیری پیچیده بسیار کارآمد است. این روش به‌ندرت در پژوهش‌های مدیریت منابع آب استفاده‌شده است و از ترکیب مدل مجموع وزنی (WSM) و مدل محصول وزنی (WPM) تشکیل‌شده است که دقت و قابلیت رتبه‌بندی بهتری در مقایسه با دو مدل دارد. (زاوادسکاس و همکاران ۲۰۱۲، بیات و همکاران ۲۰۲۲).

گام‌های این مدل به‌شرح زیر بود (قرابایی و همکاران ۲۰۱۶، دوسی و همکاران ۲۰۱۸).

گام اول: ماتریس تصمیم اولیه ایجاد شد.

گام دوم: ماتریس تصمیم‌گیری بهنجارشده خطی برای معیارها با استفاده از رابطه‌های ۹ و ۱۰ محاسبه شد.

$$\overline{K}_{ij} = \frac{K_{ij}}{\max_j K_{ij}} \quad (۹)$$

$$\overline{K}_{ij} = \frac{\min_j K_{ij}}{K_{ij}} \quad (۱۰)$$

$\overline{K}_{ij}$: اندازهٔ بهنجارشدهٔ K_{ij} است.

گام سوم: محاسبهٔ VSM (L^1_j) و VPM (L^2_j) برای هر جایگزین با استفاده از رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ انجام شد.

$$L^1_j = \sum_{i=2}^{m} w_i \overline{K}_{ij} \quad (۱۱)$$

$$L^2_j = \prod_{i=1}^{m} (\overline{K}_{ij})^{w_i} \quad (۱۲)$$

W_i: وزن (اهمیت نسبی) معیار i است.

گام چهارم: معیار کل مدل WASPAS برای هر جایگزین با استفاده از رابطهٔ ۱۳ به‌دست آمد.

$$L_j = (1-\delta)L_j^2 + \delta L_j^1 \quad (۱۳)$$

δ: سنجهٔ مدل از ۰ تا ۱ است. هنگامی‌که $\delta = 0$ باشد مدل WASPAS به WSM و هنگامی‌که $\delta = 1$ باشد به VPM تبدیل می‌شود. سرانجام با توجه به کاهش (L_i) گزینه‌های جایگزین رتبه‌بندی شدند.

مقایسه شبکهٔ پایش کنونی با نتایج مکان‌یابی (شبکهٔ بهینه) و اجرای آزمون همگنی داده‌ها

در این گام برای ارزیابی شبکهٔ پایش کنونی با نتایج مکان‌یابی، شبکهٔ تیسن مربوط به هر آبخوان رسم شد. سپس، میانگین امتیاز نقشه‌های مکان‌یابی در هر پلیگون تیسن به‌دست آمد (مهتا و همکاران ۲۰۲۳). برای هر چاه و هر پولیگون، چاه‌هایی که میانگین امتیاز کمتر از ۰/۳ داشتند به‌عنوان چاه‌های نامناسب در نظر گرفته شد. سپس، برای اطمینان از انتخاب درست چاه‌های نامناسب از آزمون‌های همگنی داده‌ها استفاده شد. برای انجام این آزمون ابتدا داده‌های ماهانهٔ چاه‌های نامناسب تهیه شد و کمبود داده‌های آماری آن‌ها با استفاده از همبستگی و وایازی برطرف شد. سرانجام، از دو روش آزمون همگنی شامل روش پتییت یا Petits و روش استاندارد بهنجار (SNHT) برای انجام آزمون همگنی استفاده شد (امامی و همکاران ۲۰۲۰). در این آزمون‌ها در شرایطی که Pvalue مشاهده‌شده کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ باشد، داده‌ها غیرهمگن می‌باشند.

مشخص کردن اهمیت چاه‌ها با تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

در این پژوهش چاه‌های کم‌اهمیت با استفاده از روش PCA حذف شدند. PCA روشی است که با استفاده از آن بخش‌های اضافی موجود در داده‌ها حذف می‌شوند و در نتیجه داده‌ها به ابعاد مؤثر تبدیل می‌شوند (برو و اسمیلد ۲۰۱۴). در این روش برای محاسبهٔ اهمیت هر چاه از ضریب همبستگی میان اجزای اصلی و داده‌های مشاهده‌شده استفاده شد.

$$Cor(Z_j, X_i) = \lambda_j^{\frac{1}{2}} a_{i,j} \quad (۱۴)$$

a_{ij}: عنصر i از جز اصلی j است. هر چه ضریب بیشتر باشد، اهمیت نسبی چاه بیشتر است (سانچز مارتوز و همکاران ۲۰۰۱). بر اساس دیدگاه پترسون (۲۰۰۱)، تعداد چاه‌ها باید کمتر یا برابر با تعداد مشاهده‌ها که همان تعداد سال‌های آماری است، باشد. در این پژوهش از آمار سالانهٔ سطح آب زیرزمینی ۴۰ چاه در دشت گهکم سعادت‌آباد استفاده شد. آخرین آمار در دسترس مربوط به اسفند ۱۴۰۰ بود. قبل از این تاریخ از هر کدام از چاه‌ها تعداد ۴۰ برداشت سطح آب زیرزمینی برای تحلیل PCA انتخاب شد. به این ترتیب برای هر تحلیل مولفهٔ اصلی تعدادی چاه به‌عنوان چاه مؤثر شناسایی شد. سرانجام، تعداد دفعاتی که هر چاه در تحلیل شرکت‌داده شد و همچنین تعداد دفعاتی که به‌عنوان چاه مؤثر شناسایی شد نیز مشخص شد. برای تعیین اهمیت نسبی هر چاه از رابطهٔ ۱۵ استفاده شد (بذرافشان و گرکانی‌نژاد ۲۰۱۸).

$$\text{Relative important} = \frac{N}{n} \quad (۱۵)$$

N: تعداد دفعاتی که هر چاه به‌عنوان چاه مؤثر در نظر گرفته می‌شود، n: تعداد دفعاتی که هر چاه در تحلیل شرکت‌داده شده است. سرانجام، اندازهٔ خطای پایش برای حذف چاه‌های بی‌اثر با استفاده از رابطهٔ ۱۰ محاسبه شد (بذرافشان و گرکانی‌نژاد ۲۰۱۸).

$$\text{Error} = \frac{(m_n - m_0)}{m_0} * 100 \quad (۱۶)$$

m_n: میانگین اندازهٔ حذف چاه‌ها بر اساس اهمیت نسبی محاسبه‌شده، m_0: میانگین اندازهٔ همهٔ چاه‌های موجود است.

بررسی اثر حذف چاه‌های کم‌اهمیت بر خطای درون‌یابی

برای تعیین اندازهٔ خطای درون‌یابی پس از حذف چاه‌های کم‌اهمیت از روش کریجینگ استفاده شد. کریجینگ، روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای داده‌هایی که روندهای موضعی تعریف‌شده‌ای دارند، مناسب است. این روش با کمترین پراکنش، درون‌یابی را برآورد می‌کند و اندازهٔ خطای آن تابع مشخصات واریوگرام (ساختار فضایی) است. معادلهٔ مدل در حالت کلی به‌شکل زیر است.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \quad (۱۷)$$

$Z^*(X_i)$: ایار برآوردی، λ_i: وزن ایستگاه iام و $Z(X_i)$: اندازهٔ متغیر اندازه‌گیری‌شده است (قهرودی‌تالی ۲۰۱۵). سمی واریوگرام، بر این اساس که خواص پدیده‌ها در مکان‌های نزدیک در مقایسه با فواصل دورتر شباهت بیش‌تری دارند، درجهٔ همبستگی میان نقاط را اندازه‌گیری می‌کند (قهرودی‌تالی ۲۰۱۵). در یک واریوگرام در محور (X) فاصلهٔ میان نمونه‌ها و در محور (Y) مربع اختلاف میان اندازهٔ یا پراکنش نمونه ها رسم می‌شود و هر نقطه در نمودار سمی واریوگرام موقعیتی از دو نقطه را نشان می‌دهد. اگر همبستگی فضایی میان داده‌ها وجود داشته باشد دو جفت به هم نزدیک در قسمت چپ محور (X) و پایین محور (Y) قرار می‌گیرند. همان‌طور که نقاط از هم دور می‌شوند به‌طرف راست محور (X) حرکت می‌کنند و به‌طور کلی مربع اختلافات بیشترشده و در سمت بالای محور (Y) قرار می‌گیرند. در این تحلیل نمونه‌های جفت با فاصله و جهت مشابه هستند که پراکنش مشابه نیز دارند که این رابطهٔ ایستایی نامیده می‌شود. خودهمبستگی فضایی به فاصلهٔ میان نمونه‌های جفت وابسته است و با تغییر فاصله تغییر می‌کند که چنین تغییرات فضایی پایدار در خودهمبستگی را ایزوتروپی می‌نامند. امکان دارد که خودهمبستگی افزون بر تغییر فاصله، با تغییر جهت نیز تغییر کند. اثر تغییر جهت در سمی واریوگرام انیزوتروپی نامیده می‌شود (حکیم‌دوست و همکاران ۲۰۱۵). در این پژوهش از میان ۵ نوع واریوگرام خطی، خطی تا آستانه، کروی، نمایی و گوسی بهترین واریوگرام انتخاب شد و درون‌یابی در دو گام انجام شد. در گام اول با استفاده از تمام چاه‌ها درون‌یابی انجام شد. سپس، چاه‌های با اهمیت نسبی منفی حذف شدند و مجدد درون‌یابی انجام شد. سپس، ریشهٔ دوم میانگین مربع خطا RMSE برای حالت‌های درون‌یابی محاسبه شد و درصد کاهش یا افزایش خطا با حذف چاه‌های کم‌اهمیت مشخص شد (اقبالیان و بهمنی ۲۰۲۰).

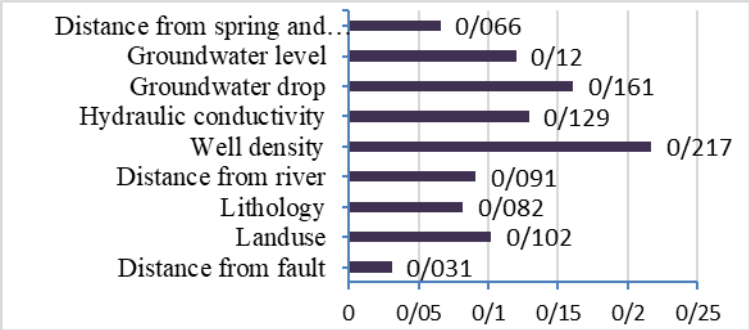
خوشه‌بندی جاه‌های مشاهده‌ای

یکی از روش‌های علمی دسته‌بندی ایستگاه‌ها از دیدگاه کیفیت آب زیرزمینی استفاده از تحلیل خوشه‌ای است. در این روش می‌توان ایستگاه‌هایی که آب آن‌ها از دیدگاه کیفیت مشابه هستند، در گروه‌های مجزا طبقه‌بندی کرد. به‌بیان دیگر ایستگاه‌ها به خوشه‌هایی متمایز با بیشترین شباهت تقسیم می‌شوند (دین‌پژوه ۲۰۲۲). از مشخصه‌های مهم خوشه‌بندی، ارائهٔ نمودار گرافیکی دندوگرام است. تعداد خوشه‌ها به‌شکل قراردادی تعیین می‌شود و با توجه به مقیاس پژوهش‌ها می‌توان با جابه‌جا کردن خط تقسیم که برای تعیین خوشه‌ها از طول یک دندوگرام کشیده می شود، تعداد خوشه‌ها را تغییر داد و آن‌ها را کم یا زیاد کرد (بذرافشان و گرکانی‌نژاد ۲۰۱۸). در گام پایانی پژوهش عمل خوشه‌بندی چاه‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

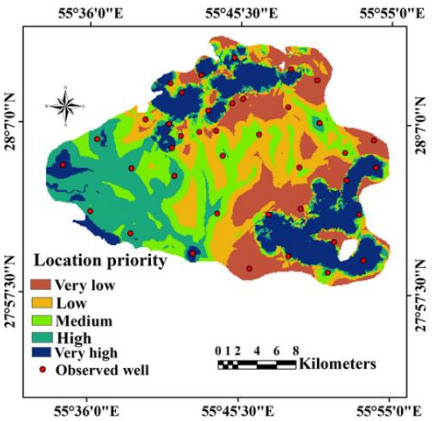
نقشهٔ نتایج وزن‌دهی به هر یک از معیارها با روش AHP در شکل ۳ ارائه‌شده است. بر اساس این نتایج، از میان معیارهای استفاده‌شده در این پژوهش معیار تراکم چاه‌های بهره‌برداری با وزن ۰/۲۱۷، افت سطح آب زیرزمینی با وزن ۰/۱۶۱، هدایت آبی با وزن ۰/۱۲۹، سطح آب زیرزمینی با وزن ۰/۱۲۰، کاربری زمین با وزن ۰/۱۰۲، فاصله از رود با وزن ۰/۰۹۱، سنگ‌شناسی با وزن ۰/۰۸۲، فاصله از چشمه و قنات با وزن ۰/۰۶۱ و فاصله از گسل با وزن ۰/۰۳۱ رتبهٔ اول تا آخر را به‌دست آوردند. همچنین، نرخ ناسازگاری در این مقایسه‌ها ۰/۰۷ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ سازگار بودن قضاوت‌ها بود. در این پژوهش عملکرد روش AHP زیاد بود که با یافته‌های پژوهش‌های دیریبا و همکاران (۲۰۲۴)، شینده و همکاران (۲۰۲۴) و زودیه و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد. روش AHP به‌عنوان یک مزیت در به‌دست آوردن وزن‌های جایگزین بسیار بزرگ، مناسب است و می‌توان با استفاده از این روش داده‌های کیفی را به‌شکل کمی نیز توصیف کرد (رازی و همکاران ۲۰۲۴). همچنین

نقشه‌های مکان‌یابی با استفاده از مدل TOPSIS و WASPAS به‌ترتیب در شکل ۴ و ۵ ارائه‌شده است.



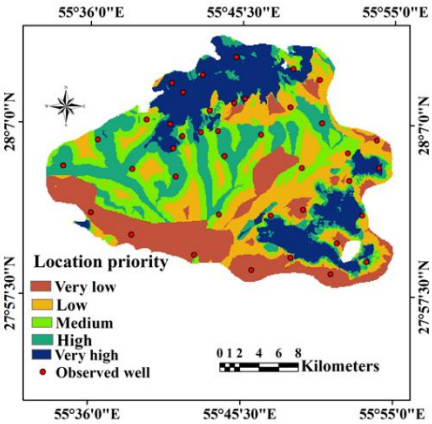
شکل ۳- وزن معیارهای انتخاب‌شده با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی.

Figure 3- Weights of selected criteria using the Analytic Hierarchy Process.



شکل ۴- نقشهٔ مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از مدل TOPSIS.

Figure 4- Location map observational wells by TOPSIS model.

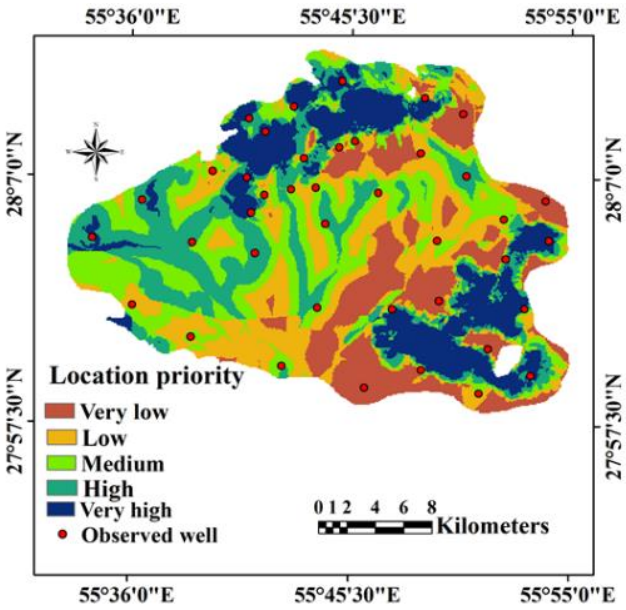


شکل ۵- نقشهٔ مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از مدل WASPAS.

Figure 5- Location map observational wells by TOPSIS model.

بر اساس نقشه‌های مکان‌یابی مشخص شد که استفاده از هر دو روش تاپسیس و واسپاس تقریباً نتایج یکسانی به‌همراه داشت. ازاین‌رو، برای پرهیز از محاسبات تکراری از هر دو نقشهٔ تاپسیس و واسپاس میانگین گرفته شد و دیگر تحلیل‌ها بر اساس نقشهٔ میانگین انجام شد (شکل ۶). با دقت در نقشهٔ نهایی

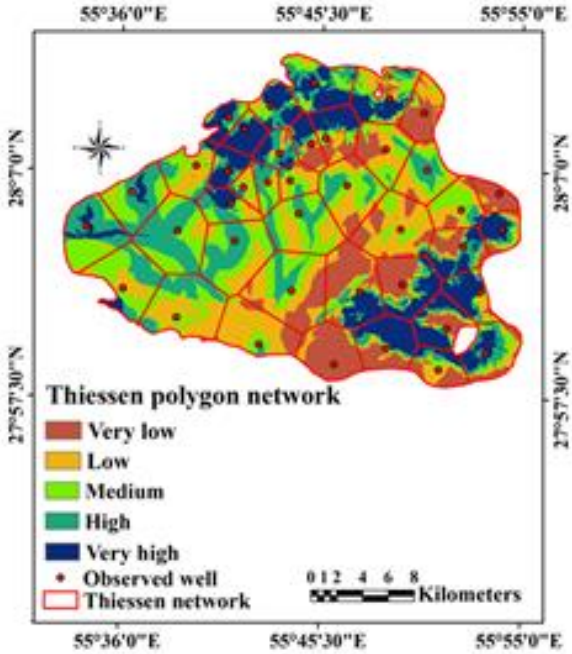
مکان‌یابی و انطباق آن با نقشهٔ کاربری زمین مشاهده شد در جاهایی که تراکم چاه‌های بهره‌برداری بیشتر و هم‌چنین کاربری از نوع زراعت آبی بود، اولویت مکان‌یابی نیز افزایش یافت. زیرا، در اثر استفاده از آب زیرزمینی برای آبیاری زمین‌های زراعی، سطح آب کاهش یافت. هر عاملی که باعث تغییرات سطح سفرهٔ آب زیرزمینی شود، سبب افزایش لزوم پایش و حفر چاه مشاهده‌ای در آن مکان می‌شود. ازاین‌رو، جاهایی که تراکم چاه بهره‌برداری بیشتر بود در اولین اولویت‌ها قرار گرفتند. به‌طور کلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، دارای قضاوت شفاف و صحت زیاد هستند و در زمینهٔ مدیریت منابع آب به‌عنوان یک روش مفید شناخته شده‌اند (کارتیکیان و همکاران ۲۰۲۱). مدل تاپسیس به‌عنوان بهترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره از دیدگاه دقت یا تأیید صحت زمانی به‌شمار می‌آید (نارمادا دوی و همکاران ۲۰۲۳). روش واسپاس نیز در مقایسه با روش‌های مستقل (WPS و WSM) دقت و عملکرد بهتری دارد (راجا و همکاران ۲۰۲۳). ازاین‌رو، استفاده از این مدل‌ها در زمینهٔ پژوهش‌های مربوط به پایش آب‌های زیرزمینی پیشنهاد می‌شود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش دهقان رحیم‌آبادی (۲۰۲۴)، ماندال و همکاران (۲۰۲۲) و راجا و همکاران (۲۰۲۳) مبنی بر پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی هم‌راستا است.



شکل ۶- نقشهٔ میانگین اولویت مکان‌یابی چاه‌های آب زیرزمینی.

Figure 6- Map of the average spatial priority of groundwater wells.

پس از انجام فرایند مکان‌یابی، برای مقایسهٔ شبکهٔ پایش کنونی با نتایج مکان‌یابی، ابتدا شبکهٔ تیسن مربوط به هر آبخوان در نقشهٔ میانگین به‌دست آمده از دو مدل TOPSIS و WASPAS رسم شد (شکل ۷). بر اساس امتیازات مکان‌یابی برای هر چاه و هر پولیگون، چاه‌هایی که دارای میانگین امتیاز کمتر از ۰/۳ بودند به‌عنوان چاه‌های نامناسب در نظر گرفته شدند که نتایج آن در جدول ۳ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج جدول ۳، از میان ۴۰ چاه در دشت گهکم سعادت‌آباد، تقریباً ۸٪ چاه‌ها معادل ۳ چاه (شماره ۱، ۲۴ و ۲۹) با میانگین امتیاز کمتر از ۰/۳ به‌عنوان چاه‌های نامناسب مشخص شدند که در شکل ۸ موقعیت ۳ چاه نامبرده نشان‌داده شده است.



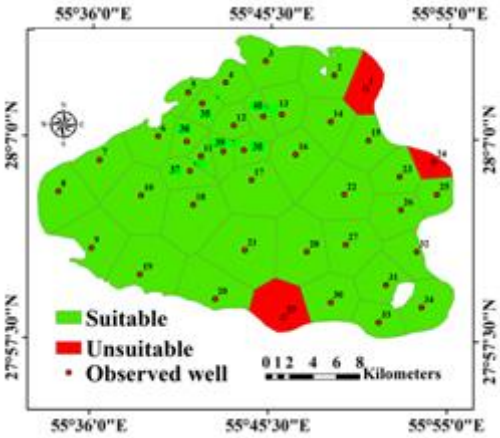
شکل ۷- نقشهٔ شبکه‌بندی تیسن نشان‌دهندهٔ مناطق تحت تأثیر چاه‌های مشاهده‌ای.

Figure 7- Thiessen network map indicating impacted areas by observational wells

جدول ۳- میانگین امتیاز مکان‌یابی در شبکهٔ تیسن.

Table 3- The mean of the location score in the Thiessen network

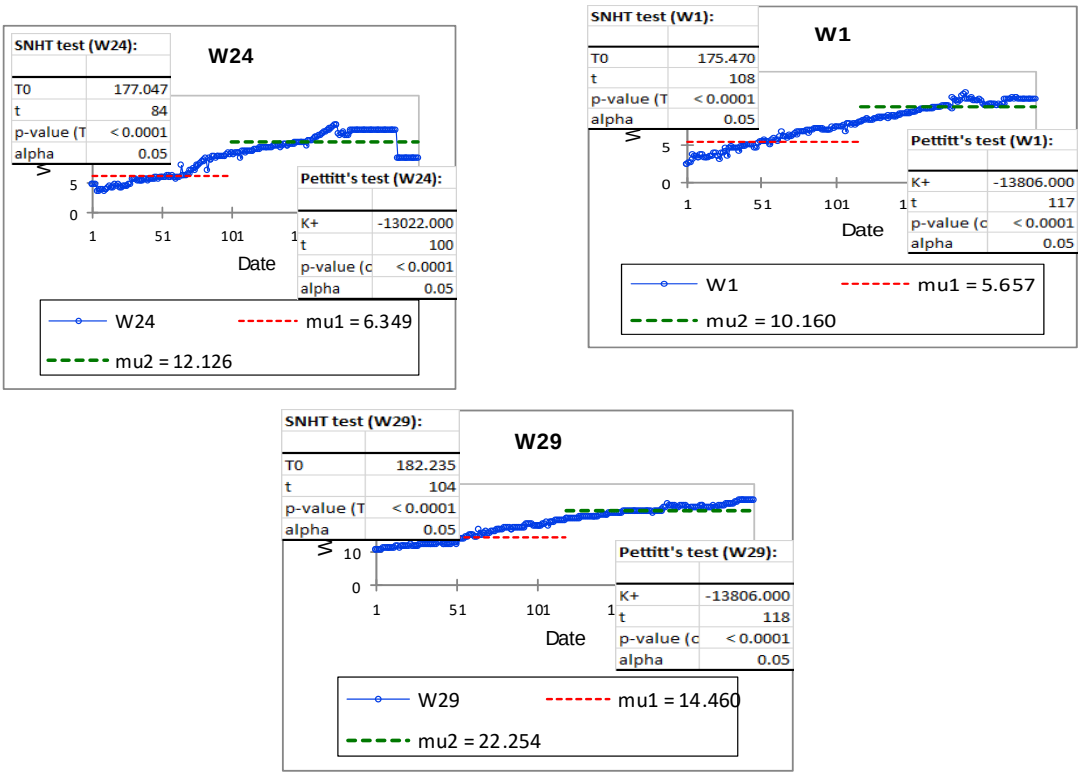
Thiessen network number	Observation well number	Average site selection score	Thiessen network number	Observation well number	Average site selection score
1	1	0.222	21	21	0.369
2	2	0.595	22	22	0.313
3	3	0.708	23	23	0.412
4	4	0.739	24	24	0.168
5	5	0.771	25	25	0.642
6	6	0.485	26	26	0.533
7	7	0.610	27	27	0.487
8	8	0.618	28	28	0.426
9	9	0.524	29	29	0.111
10	10	0.593	30	30	0.607
11	11	0.463	31	31	0.621
12	12	0.673	32	32	0.713
13	13	0.574	33	33	0.412
14	14	0.352	34	34	0.556
15	15	0.468	35	35	0.887
16	16	0.413	36	36	0.807
17	17	0.480	37	37	0.614
18	18	0.519	38	38	0.426
19	19	0.462	39	39	0.566
20	20	0.319	40	40	0.517



شکل ۸- چاه‌های مناسب و نامناسب از دیدگاه مکان‌یابی.

Figure 8- Suitable and unsuitable wells in terms of location

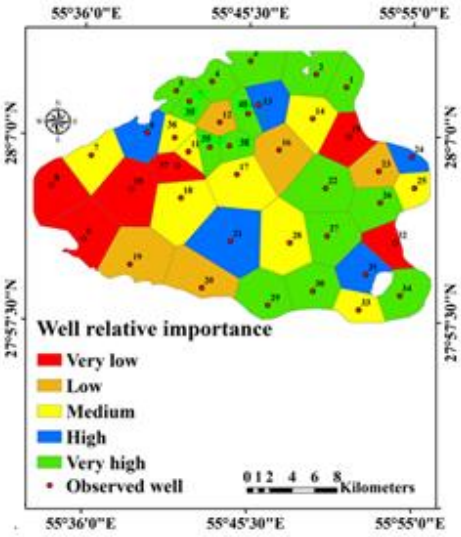
به‌منظور اطمینان از انتخاب صحیح چاه‌های نامناسب و انتخاب صحیح شبکهٔ بهینه، آزمون همگنی پتیت و SNHT اجرا شد که نتایج آن در شکل‌های ۹ تا ۱۱ ارائه‌شده است. با توجه به شکل‌های نامبرده مشخص شد در هر ۳ چاه، اندازهٔ Pvalue مربوط به آزمون پتیت و SNHT کمتر از سطح معنی داری ۵ درصد بود. ازاین‌رو، ۳ چاه انتخاب شده در فرایند مکان‌یابی به‌عنوان چاه غیرهمگن در نظر گرفته شدند، که این نتایج نشان از انتخاب صحیح این چاه‌ها به‌عنوان چاه نامناسب و دقت روش‌های استفاده شده در فرایند مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای دارد.



شکل ۱۱- نتایج آزمون همگنی به ترتیب در چاه شمارهٔ ۱، ۱۴ و ۲۹.

Figure 11- The results of the homogeneity test respectively in well No. 1, 14 and 29.

نتایج مربوط به اهمیت نسبی چاه‌ها و پلیگون‌های تیسن با استفاده از روش PCA در شکل ۱۲ و جدول ۴ ارائه‌شده است. بر اساس این نتایج، از میان ۴۰ چاه موجود در دشت گهکم سعادت‌آباد، ۳۸٪ از چاه‌ها با اهمیت نسبی خیلی‌زیاد، ۱۲٪ با اهمیت نسبی زیاد، ۲۳٪ با اهمیت نسبی متوسط و ۱۲٪ با اهمیت نسبی کم شناسایی شدند. هم‌چنین ۱۵٪ از چاه‌های مشاهده‌ای (چاه‌های شمارهٔ ۸، ۹، ۱۰، ۱۵، ۳۲ و ۳۷) با کم‌ترین اهمیت نسبی مشخص شدند. ازاین‌رو، شناسایی و حذف این ۶ چاه کم اهمیت سبب صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان و کاهش هزینه‌های مربوط به پایش شد. این نتایج با یافته‌های علی و همکاران (۲۰۲۴)، پاتنیک و همکاران (۲۰۲۴)، لوک‌اسپینار (۲۰۲۴) هماهنگی دارد. پس از حذف چاه‌ها با کم‌ترین اهمیت نسبی، خطای درون‌یابی با استفاده از روش کریجینگ محاسبه شد. به این منظور از میان مدل‌های گوناگون روش کریجینگ (خطی، کروی، سهمی و گوسی)، واریوگرام گوسی با کمترین اندازهٔ RSS به‌عنوان مدل برتر در مقایسه با دیگر مدل‌ها انتخاب شد که نتایج آن در جدول ۵ و شکل ۱۳ ارائه‌شده است. این یافته‌ها با نتایج پژوهش اصغری سراسکانرود و همکاران (۲۰۲۱) و محمودی‌زاده و اسماعیلی (۲۰۲۱) مبنی بر برتری سمی واریوگرام گوسی در مقایسه با دیگر واریوگرام‌های مربوط به روش کریجینگ مطابقت دارد.



شکل ۱۲- اهمیت نسبی چاه‌های مشاهده‌ای آب زیرزمینی.

Figure 12- The relative importance of groundwater observational wells.

جدول ۴- اهمیت نسبی چاه‌های آب زیرزمینی دشت گهکم سعادت‌آباد.

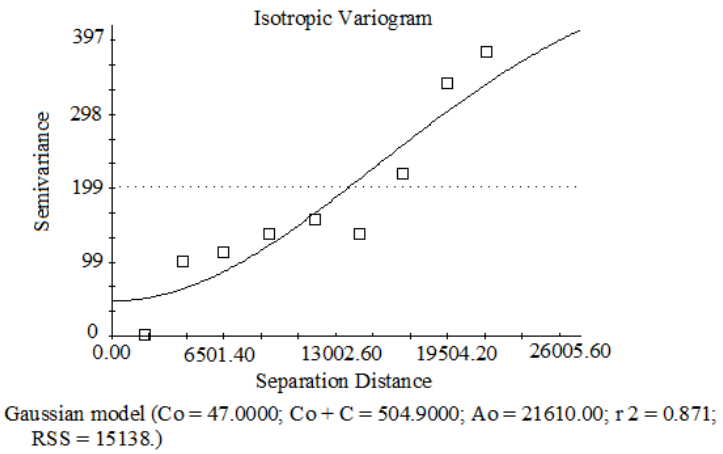
Table 4- The relative importance of the groundwater wells in the Gahkom Saadatabad Plain.

well number	Relative importance	well number	Relative importance	well number	Relative importance	well number	Relative importance
W14	0.422	W36	0.310	W9	-0.355	W4	0.649
W17	0.421	W28	0.258	W37	-0.411	W39	0.643
W33	0.415	W11	0.226	W8	-0.493	W1	0.632
W25	0.326	W7	0.128	W32	-0.606	W3	0.623
W18	0.323	W20	0.071	W15	-0.632	W2	0.613
W29	0.691	W16	-0.015	W30	0.683	W13	0.562
W27	0.690	W12	-0.121	W40	0.677	W24	0.556
W26	0.686	W23	-0.207	W34	0.674	W21	0.550
W22	0.685	W19	-0.228	W35	0.667	W31	0.522
W5	0.683	W10	-0.315	W38	0.667	W6	0.485

جدول ۵- واریوگرام‌های برازش‌داده شده در دشت گهکم سعادت‌آباد.

Table 5- The fitted variograms in the Gahkom Saadatabad Plain.

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co + C]	r 2	RSS
Spherical	1.00000	412.90000	38420.0000	38420.0000	0.998	0.843	19111
Exponential	1.00000	412.90000	18710.0000	56130.0000	0.998	0.803	26911
Linear	1.00000	412.90000	27130.0000	27130.0000	0.998	0.866	15836
Linear to sill	1.00000	412.90000	27130.0000	27130.0000	0.998	0.866	15836
Gaussian	47.00000	504.90000	21610.0000	37429.6180	0.907	0.871	15138



شکل ۱۳- بهترین واریوگرام (مدل گوسی).

Figure 13- The best variogram (Gaussian model).

پس از انتخاب بهترین واریوگرام، اندازهٔ آماره خطای RMSE که بیانگر درصد کاهش یا افزایش خطا پس حذف چاه‌های کم‌اهمیت است، محاسبه شد (جدول ۶). بر اساس نتایج جدول ۶، اندازهٔ RMSE پس از حذف چاه‌های کم‌اهمیت فقط ۱۴٪ افزایش یافت. ازاین‌رو، حذف اینگونه چاه‌ها تأثیر زیادی بر دقت درون‌یابی نداشت. این یافته بیانگر استاندارد بودن روش استفاده‌شده در شناسایی چاه‌های کم‌اهمیت است. ازاین‌رو، این نتایج با یافته‌های نوری‌قیداری (۲۰۱۳)، بابائی‌حصار و همکاران (۲۰۱۶) و رهنما و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. البته باید توجه داشت که همیشه حذف چاه‌های کم‌اهمیت منجر به افزایش خطای درون‌یابی نمی‌شود و با توجه به ویژگی و ماهیت چاه، خطای درون‌یابی می‌تواند افزایش یا کاهش یابد (بابائی‌حصار و همکاران ۲۰۱۶).

جدول ۶- اندازهٔ آمارهٔ خطای استاندارد.

Table 6- The value of the standard error statistic.

Description	RMSE
Standard error before removing low-importance wells	0.68
Standard error after removing low-importance wells	0.79
Error percentage change	14.71

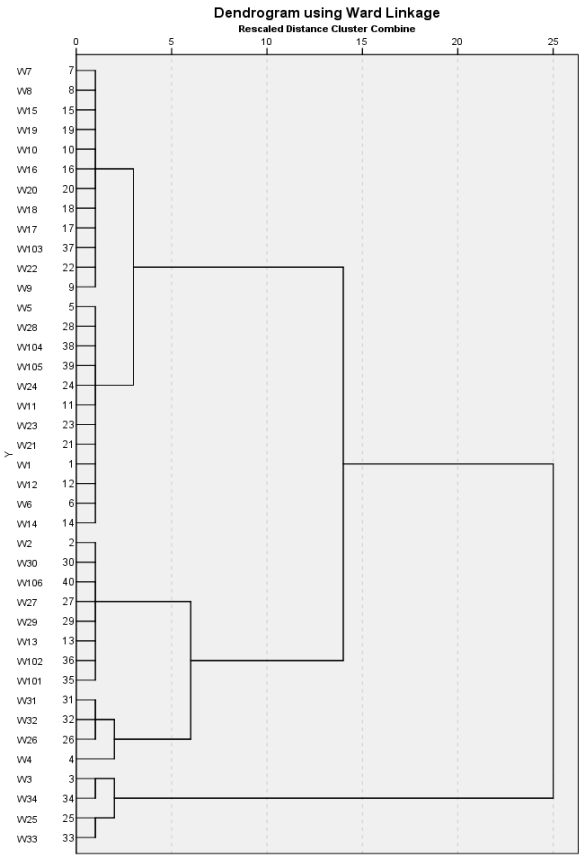
نتایج مربوط به خوشه‌بندی چاه‌های آب در منطقهٔ مطالعه‌شده در شکل ۱۴ و به‌منظور تفسیر بهتر در جدول ۷ نشان‌داده شده است. بر اساس این نتایج، چاه‌های مشاهده‌ای در ۵ خوشه گروه‌بندی شدند که از

میان ۴۰ چاه دشت گهکم سعادت‌آباد بیشترین تعداد چاه‌ها (۱۲ چاه) مربوط به خوشهٔ ۵ و کمترین تعداد چاه‌ها (۴) مربوط به خوشهٔ ۳ و ۴ بود. ازاین‌رو، می‌توان گفت در زمان‌هایی به‌دلیل نبودن امکان پایش برخی چاه‌ها، می‌توان از اطلاعات چاه‌های مشابه استفاده کرد.

جدول ۷- نتایج تحلیل خوشه‌بندی چاه‌های مشاهده‌ای آب زیرزمینی در دشت گهکم سعادت‌آباد.

Table 7- Theresults of clustering analysis for the groundwater observational wells in the Gahkom Saadatabad Plain.

Well	Cluster number	Well	Cluster number	Well	Cluster number	Well	Cluster number
1:W1	1	11:W11	1	21:W21	1	31:W31	4
2:W2	2	12:W12	1	22:W22	5	32:W32	4
3:W3	3	13:W13	2	23:W23	1	33:W33	3
4:W4	4	14:W14	1	24:W24	1	34:W34	3
5:W5	1	15:W15	5	25:W25	3	35:W35	2
6:W6	1	16:W16	5	26:W26	4	36:W36	2
7:W7	5	17:W17	5	27:W27	2	37:W37	5
8:W8	5	18:W18	5	28:W28	1	38:W38	1
9:W9	5	19:W19	5	29:W29	2	39:W39	1
10:W10	5	20:W20	5	30:W30	2	40:W40	2



شکل ۱۴- نتایج تحلیل خوشه‌بندی چاه‌های مشاهده‌ای آب زیرزمینی در دشت گهکم سعادت‌آباد.

Figure 14- The results of the clustering analysis for the groundwater observational wells in the Gahkom Saadatabad Plain.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به کاهش نزولات جوی و کمبود منابع آب سطحی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب‌های زیرزمینی به‌عنوان تنها منبع تأمین‌کنندهٔ آب لازم در بخش‌های گوناگون شرب، کشاورزی و غیره شناخته شده‌اند. همچنین، پایش و آگاهی از ویژگی‌های کمی و کیفی این منابع ارزشمند، بسیار ضروری است. پایش پیوستهٔ آبخوان‌ها مستلزم صرف هزینه، زمان و نیروی کار انسانی است. ازاین‌رو، بهینه کردن تعداد چاه‌های آب مشاهده‌ای و انتخاب چاه‌های مؤثر برای فرایند پایش می‌تواند راهکار مفیدی برای کاهش هزینه‌ها، زمان و همچنین افزایش دقت و صحت اطلاعات به‌دست آمده باشد. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف بهینه‌سازی شبکهٔ پایش آب زیرزمینی در منطقهٔ دشت گهکم سعادت‌آباد انجام شد. بر پایهٔ یافته‌های این پژوهش نقشهٔ میانگین مکان‌یابی چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از مدل‌های TOPSIS و WASPAS در ۵ گروه با اولویت خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد طبقه‌بندی شد. از سطح کل منطقهٔ مطالعه‌شده، ۳۸٪ منطقه از دیدگاه حفر چاه مشاهده‌ای در اولویت خیلی‌کم تا کم بود. همچنین ۳۸٪ از منطقه نیز در اولویت زیاد تا خیلی‌زیاد بود بخش‌های شمال‌غربی و جنوب‌شرقی منطقه را در بر می‌گرفت. از سوی دیگر، ۲۴٪ باقی‌مانده از سطح منطقه نیز در اولویت متوسط بود. در این پژوهش بر خلاف دیگر پژوهش‌های انجام‌شده، در فرایند وزن‌دهی معیارها از پیکسل‌ها به‌عنوان گزینه برای رتبه‌بندی استفاده شد که این کار سبب افزایش دقت و صحت نقشهٔ به‌دست آمده از فرایند مکان‌یابی شد. پیشنهاد می‌شود مدیران آبخیز بر اساس نقشه به‌دست آمده در این پژوهش نسبت به صدور و عدم صدور مجوز برای حفر چاه در مکان‌های مناسب و نامناسب اقدام کنند و به این ترتیب کمک ارزشمندی به ثبات منابع آب زیرزمینی کنند. از سوی دیگر، در این پژوهش همزمان با تعیین اهمیت نسبی هر یک از چاه‌های موجود در منطقه، تعدادی از چاه‌ها با اهمیت نسبی منفی شناسایی و حذف شدند. حذف چاه‌های کم اهمیت در مرحلهٔ پایش کمی و کیفی آبخوان‌ها، منجر به کاهش هزینه، صرفه‌جویی در زمان می‌شود و دقت و صحت اطلاعات به‌دست آمده از پایش افزایش خواهد داد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود عمل بهینه‌سازی شبکهٔ پایش آب زیرزمینی در بقیهٔ دشت‌های استان نیز انجام شود. افزون بر این، به‌منظور مقایسه میان انواع گوناگون روش‌های آماری، آب‌زمین‌شناختی و روش‌های داده‌کاوی مانند مدل‌های یادگیری ماشین، استفادهٔ هم‌زمان آن‌ها در پژوهش‌های مربوط به پایش شبکه‌های آب‌های زیرزمینی و ارزیابی و انتخاب بهترین روش برای بهینه‌سازی شبکهٔ پایش نیز پیشنهاد می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت افزون بر ۹ معیار انتخاب‌شده در این پژوهش، معیارهای دیگری را نیز برای اولویت‌بندی مناطق برای ساخت شبکهٔ پایش باید در نظر گرفت. یکی از مهم‌ترین این معیارها، جبهه‌های ورودی و خروجی آبخوان است. لزوم پایش مناطق در شناخت و پیش‌بینی آب زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. مشخص است که مناطق نزدیک به ورودی و خروجی آبخوان اولویت زیادی برای ساخت شبکهٔ پایش دارند. پس از مکان‌یابی اولیه نیاز است که اینگونه تحلیل‌ها انجام شود و مناطقی که در مکان‌یابی اولیه به‌عنوان بخش‌های با اهمیت زیاد شناخته شده‌اند، در گام بعد نیز اولویت‌بندی شوند. معیار بعدی تحلیل اقتصادی و هزینهٔ ساخت شبکه‌های پایش و اولویت‌بندی از دیدگاه اقتصادی است. معیار مهم دیگر، دوری یا نزدیکی به راه‌ها است که مناطق نزدیک به خطوط ارتباطی اهمیت بیشتری برای ساخت شبکهٔ پایش دارند. می‌توان نتیجه گرفت گام بعدی اولویت‌بندی از دیدگاه معیارهای مهم است.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندهٔ اول: راهنمایی، مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله، تحلیل‌های آماری.

نویسندهٔ دوم: ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج.

نویسندهٔ سوم: تحلیل‌های آماری.

نویسندهٔ چهارم و پنجم: بررسی نتایج.

فهرست منابع

coastal plain. Journal of Ecological Engineering, 24(10):57-66. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452702015

Bro R, Smilde AK. 2014. Principal component analysis. Analytical Methods. 6(9): 2812–2831. https://doi.org/10.1039/C3AY41907J

Dehghan Rahimabadi P, Behnia M, Nasabpour Molaei S, Khosravi H, Azarnivand H. 2024. Assessment of groundwater resources potential using Improved Water Quality Index (ImpWQI) and entropy-weighted TOPSIS model. Sustainable Water Resources Management. 10(1): 1-7. https://doi.org/10.1007/s40899-023-00988-y

Demirci M, Tasar B, Kaya YZ, Gemici E. 2021. Monthly groundwater level modeling using data mining approaches. Air and Water Components of the Environment Conference Proceedings, Cluj Napoca, Romania. 2021(1): 75-86. https://doi.org/10.24193/AWC2021_07

Deveci M, Canitez F, Gokasar I. 2018. WASPAS and TOPSIS based interval type-2 fuzzy MCDM method for a selection of a car sharing station. Sustainable Cities and Society. 41:777-791. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.034

Devi RN, Sowmiya S, Sundareswaran R, Broumi S. 2023. Waste to energy treatment for India using CRITIC-WASPAS method under Interval-Valued Pythagorean Neutrosophic Fuzzy set. Neutrosophic Sets and Systems. 61(1): 493-506. https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal

Dinpazhoo Y. 2022. Clustering of observation wells of Khoy Plain aquifer from the view of water quality using the K-Means. Hydrogeology, 7(1):25-41. (In Persian). https://sid.ir/paper/1036888/en

Diribaa D, Karuppannan Sh, Takele T, Husein M. 2024. Delineation of groundwater potential zonation using geoinformatics and AHP techniques with remote sensing data. Heliyon. 10(3): 1-13. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25532

Eghbalian S, Bahmani O. 2020. Study of local and temporal changes of groundwater quality standards of Hamedan-Bahar plain using (GIS) over a 10 years' period. Environmental Science and Technology. 22(3): 83-98. (In Persian).

Ali S, Verma S, Agarwal MB, Islam R, Mehrotra M, Kumar Deolia R, Kumar J, Singh Sh, Mohammadi AA, Raj D, Kumar Gupta M, Dang PH, Fattahi M. 2024. Groundwater quality assessment using water quality index and principal component analysis in the Achnera block, Agra district, Uttar Pradesh, Northern India. Scientific Reports. 14(1): 1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-024-56056-8

Al-Zubari W, Al-Shaabani A, Abdulhameid N. 2023. Spatial optimization of the groundwater quality monitoring network in the kingdom of bahrain. Water, 15(12): 1-14. https://doi.org/10.3390/w15122169

Asghari Sarasekanrood S, Ghale E, Ebadi E. 2021. Investigation of land use changes and its relationship with groundwater level (Case study: Ardabil Plain). RS and GIS for Natural Resources. 12(1): 86-106. (In Persian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.5.6

Babaeihesar S, Hamdami Q, Ghasemieh H. 2016. Identify the effective wells in determination of groundwater depth in Urmia plain using principle component analysis. Journal of Water and Soil. 31(1): 40-50. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jsw.v31i1.48750

Bączkiewicz A, Wątróbski J, Kizielewicz B, Sałabun W. 2021. Towards objectification of multi-criteria assessments: (2021). A comparative study on MCDA methods. conference: 16th Conference on Computer Science, 25. pp. 417-425. https://doi.org/10.15439/2021F61

Bayat F, Roozbahani A, Hashemy Shahdany SM. 2022. Performance evaluation of agricultural surface water distribution systems based on water-food-energy nexus and using AHP-entropy-WASPAS technique. Water Resources Management. 36(12): 4697-4720. https://doi.org/10.1007/s11269-022-03273-3

Bazrafshan O, Gerkani Nezhad Moshozi Z. 2018. Optimization of piezometeric wells number for groundwater level prediction using factor analysis (Case study: Minab plain). Irrigation and Water Engineering. 9(2): 80-94. (In Persian). https://doi.org/10.22125/IWE.2019.87268

Bouhout S, Haboubi K, El Abdouni A, El Hammoudani Y, Haboubi CH, Dimane F, Hanafi I, Salahdine Elyoubi M. 2023. Appraisal of groundwater quality status in the Ghiss-Nekor

Emami H, Salajagheh A, Moghadam Niya AR, Khalighi Sigaroudi. 2020. Investigating the accuracy and efficiency of TRMM satellite in estimating monthly rainfall in the Gorgan River watershed. Ecohydrology. 7(3): 719-729. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ije.2020.261641.917

Ghahroudi Tali, M. 2015. The introduction to geographic information systems. 1 (ed) Payanname Noor University. 214 p. (In Persian).

Ghorabaee MK, Zavadskas EK, Amiri M, Esmaeili A. 2016. Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. Journal of Cleaner Production, 137: 213-229. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.031

Hajizadegan S. 2015. Comparison and application of multi-criteria decision-making methods in selecting the optimal process for sewage treatment. Master's thesis, Birjand University. (In Persian). 105p.

Hakimdoost SY, Pourzeydi AM, Gerami MS. 2017. Spatial analysis of torrential rain in Mazandaran Province in the geographic information system (GIS) environment. Scientific Research Quarterly of Geographical Data, 7(102): 191-203. (In Persian). https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.27477

Han D, Currell MJ. 2021. Review of drivers and threats to coastal groundwater quality in China. Science of The Total Environment, 806:1-20. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150913

Helena B, Pardo R, Vega M, Barrado E, Manuel J, Fernandez L. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer by principal component analysis. Water Research, 34(3): 807-816. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00225-0

Hossain J, Rahman Z, Maksud Kamal ASM, Chowdhury MA, Hossain SH, Rahman M, Zahid A, Towfiqul Islam AR. 2024. Quantitative and qualitative assessment of groundwater resources for drinking water supply in the peri-urban area of Dhaka, Bangladesh. Groundwater for Sustainable Development. 25: 101-146. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101146

Kahraman C, Ates NY, Cevik S, Gulbay M, Aysa Erdogam S. 2007. Hierarchical fuzzy TOPSIS model for selection among logistics information technologies. Journal of Enterprise Information Management. 20(2): 143-168. DOI:10.1108/17410390710725742

Kheirkhah Zarkesh, M., 2005. DSS for flood water site selection in Iran. PhD thesis. Wageningen University. 273 p.

Lee S, Hyun Y, Lee MJ. 2019. Groundwater potential mapping using data mining models of big data analysis in Goyang-si, South Korea. Sustainability.11(6):1-21. https://doi.org/10.3390/su11061678

Li Zh, Luo Z, Wang Y, Fan G, Zhang J. 2022. Suitability evaluation system for the shallow geothermal energy implementation in region by entropy weight method and TOPSIS method. Renewable Energy. 184: 564-576. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.112

Lucas L, Jauzein M. 2008. Use of principal component analysis to profile temporal and spatial variations of chlorinated solvent concentration in groundwater. Environmental Pollution. 151(1): 205-212. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.054

Luque-Espinar JA, López-Chicano M, Pardo-Igúzquiza E, Chica-Olmo M. 2024. Using numerical methods for map the spatiotemporal geogenic and anthropogenic influences on the groundwater in a detrital aquifer in south Spain. Journal of Environmental Management, 355(3): 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120442

Mahmodizadeh S, Esmaeily A. 2021. Geostatistical modelling of spatial changes in groundwater quality using GIS and wilcox model (Case study: Central and Kenark Districts, Chabahar). Environment and Water Engineering. 7(1): 103-118. (In Persian). https://doi.org/10.22034/jewe.2020.255847.1460

Mandal T, Saha S, Das J, Sarkar A. 2022. Groundwater depletion susceptibility zonation using TOPSIS model in Bhagirathi River Basin, India. Modeling Earth Systems and Environment. 8(2):1711-1731. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01176-7

Mehta D, Dhabuwala J, Yadav S M, Kumar V, Azamathulla HM. 2023. Improving flood forecasting in Narmada River Basin using hierarchical clustering and hydrological modelling. Results in Engineering. 20(13): 1-13. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101571

Zewdie MM, Kasie LA, Bigale S. Groundwater potential zones delineation using GIS and AHP techniques in upper parts of Chemoga watershed. Ethiopia Appl Water Sci. 14(85): 1-28.. 10.1007/s13201-024-02119-0

Nouri Gheidari MH. 2013. Determination of effective wells to monitor the ground water level using the principal components analysis. Water and Soil Sciences. 17(64): 149-158. (In Persian). http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1537-fa.html

Ostad-Ali-Askar K, Shayannejad M. 2021. Quantity and quality modelling of groundwater to manage water resources in Isfahan-Borkhar aquifer. Environment Development and Sustainability.23(11):15943-15959. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01323-1

Patnaik M, Tudu CH, Kumar Bagal D. 2024. Monitoring groundwater quality using principal component analysis. Applied Geomatics. 16(1): 281-291. https://doi.org/10.1007/s12518-024-00552-z

Pearson S, Falteisek J, Berg J. 2011. Minnesota groundwater level monitoring network-guidance document for network development. Technical Report, 96 p. https://files.dnr.state.mn.us/publications/waters/groundwater_network_guidance.pdf.

Petersen W. 2001. Process identification by principal component analysis of river waterquality data. Ecological Modelling. 138(1-3): 193-213. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00402-6

Rahnama S, KhasheiSiuki A, Shahidi A. 2023. Investigating the effect of temporal and spatial variations on groundwater piezometric monitoring network design using principal components analysis (PCA). Journal of Aquifer and Qanat. 4(1): 16-29. (In Persian). https://doi.org/10.22077/jaaq.2023.5153.1046

Raja CH, Ramachandran M, Ramu K, Sivaji CH. 2023. Dharumapuri district, tamil nadu, groundwater quality status in relation to WASPAS system pollution. REST Journal on Advances in Mechanical Engineering. 2(3): 48-59. https://doi.org/10.46632/jame/2/3/5

Rajaeian SH, Ketabchi H, Ebadi T. 2024. Investigation on quantitative and qualitative changes of groundwater resources using MODFLOW and MT3DMS: A case study of Hashtgerd aquifer, Iran. Environment Development and Sustainability. 26(2): 1-26. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02904-4

Ravindra B, Subba Rao N, Dhanamjaya Rao EN. 2023. Groundwater quality monitoring for assessment of pollution levels and potability using WPI and WQI methods from a part of Guntur district, andhra pradesh, India. Environment, Development and Sustainability. 25(12): 14785-14815. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02689-6

Razi MH, Zahratunnisa Z, Retongga N. 2024. Delineation of groundwater potential zone using remote sensing and GIS-based AHP for sustainable groundwater management in Aceh Besar Regency, Aceh Province, Indonesia. Journal of Degraded and Mining Lands Management. 11(2): 5237-5249. https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.112.5237

Richardson CM, Davis KL, Ruiz-González C, Guimond JA, Michael HA, Paldor A, Moosdorf N, Paytan A. 2024. The impacts of climate change on coastal groundwater. Nature Reviews Earth and Environment. 5(2): 100-119. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00500-2

Saaty TL. 2000. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory. 2nd ed. Pittsburgh, PA: RWS Publications. 245 p.

Sanchez- Martos F, Jimenez- Espinosa R, Pulido- Bosch A. 2001. Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Hydrological Sciences Journal. 46(2): 227-242. https://doi.org/10.1080/02626660109492818

Shinde S, Barai1 V, Gavit, B, Kadam S Atre A, Baliram Pande Ch, Chandra Pal S, Radwan N, Debele Tolche A, Elkhrachy I. 2024. Assessment of groundwater potential zone mapping for semi-arid environment areas using AHP and MIF techniques. Environmental Sciences Europe, 36(1): 1-20. http://dx.doi.org/10.1186/s12302-024-00906-9

Karthikeyan1 S, Arumugam S, Muthumanickam J, Kulandaisamy P, Subramanian M, Annadurai R, Sekar S. 2021. Causes of heavy metal contamination in groundwater of Tuticorin industrial block, Tamil Nadu. India. Environmental Science and Pollution Research, 28(15): 18651-18666. http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-11704-0

Soori S, Baharvand S, Amiri V. 2017. Delineation of groundwater potential using AHP-Fuzzy (A case study: Romeshgan Plain). Scientific Research Journal of Environmental Geology. 11(40): 11-26. (In Persian).

Sun X, Guo CH, Cui J. 2020. Research on evaluation method of water resources carrying capacity based on improved TOPSIS model. Hydroscience. 106(5): 68–74. https://doi.org/10.1051/lhb/2020040

Taherdoost H, Madanchian M. 2023. Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. Encyclopedia. 3(1): 77-87. https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006

Taheri K, Missimer TM, Amini V, Bahrami J, Omidipour RA. 2020. GIS-expert-based approach for groundwater quality monitoring network design in an alluvial aquifer: A case study and a practical guide. Environmental Monitoring and Assessment.192:1-20. https://doi.org/10.1007/s10661-020-08646-y

Xu J, Feng P, Yang P. 2016. Research of development strategy on China's rural drinking. water supply based on SWOT–TOPSIS method combined with AHP-entropy: A case in Hebei Province. Environmental Earth Sciences. 75(1): 1-11. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4885-6

Zavadskas EK, Turskis Z, Antucheviciene J, Zakarevicius A. 2012. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. Elektron Elektrotech. 122(6):3–6. https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.181

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Optimizing the Quantitative and Qualitative Groundwater Monitoring Network Using Statistical and MCDM Methods

Hamid Gholami[1]*, Shahram Golzari[2], Ali Akbar Mohammadifar[3], Hoorieh Zahmatkesh[4], Maryam Zare[5]

1- Professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran

2- Associate professor, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran and Associate professor, Deep Learning Research Group, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Hormozgan, Iran

3- Ph.D., Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran

4 and 5- M.Sc., Hormozgan Regional Water Company, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Groundwater plays a key role in supplying the requirements of the communities in various sectors such as drinking, industry and agriculture, etc. The important of this vital resource is even greater in arid and semi-arid regions that face decrease in precipitation. Because aquifers are considered as the main sources of water supply for communities in these areas. Also, due to their location, these resources in the coastal areas are impacting by climatic changes in the interaction of land and sea, and also, at the same time they are influencing by human activities. Therefore, understanding of the quantitative and qualitative characteristics of groundwater tables and their monitoring is necessary. Continuous monitoring of the groundwater network requires spending money, time, labor, and manpower, and optimizing the monitoring network can be a useful solution to reduce the aforementioned problems. Therefore, the research was conducted with the aim of optimization the groundwater monitoring network in the Gahkom Saadatabad plain, Hormozgan province, using statistical methods.

Materials and Methods

In this research, first, by reviewing sources, Ministry of Energy guidelines, and using the perspective of groundwater experts, 9 criteria (consisting of the mean ground water level, mean annual drop of ground water, hydraulic conductivity, density of exploitation wells, distance from the river, Geological formation, land-use, distance from the fault and distance from the spring) were selected. Then, using the Analytical Hierarchy (AHP) method, each of the criteria was weighted, and a map was prepared for each of them to carry out the location process.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author's E-mail**: Hgholami@hormozgan.ac.ir

Citation: Gholami, H., Golzari, Sh., Mohammadifar, A.A., Zahmatkesh, H., Zare, M. 2025. Optimizing the Quantitative and Qualitative Groundwater Monitoring Network Using Statistical and MCDM Methods. Watershed Management Research. 38(2): 38-61.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.367105.1595

Received: 29 September 2024, **Received in revised form:** 14 November 2024, **Accepted:** 19 December 2024

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 38-61.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)

CC BY

In this research, TOPSIS and WASPAS multi criteria decision making models were employed to implement the process of locating observed wells. Then, to evaluate the current monitoring network with location results, the Thyssen network for each aquifer was drawn. Also, the mean score of the location maps in each Thyssen polygon was obtained. For each well and each polygon, wells with the meam score of less than 0.3 were considered as unsuitable wells. Next, in order to ensure the accuracy of the selection of unsuitable wells, Pettitt's homogeneity test and standard normality test were performed. In the next step, the principal component analysis (PCA) method was used to determine the relative importance of 40 wells in the region, and wells with low relative importance were eliminated. Then, the Kriging interpolation method was used to find out the standard error value due to the removal of the wells. Finally, clustering analysis was used to group wells with the similar characteristics.

Results and Discussion

The results of the AHP showed that among the 9 criteria used in the research, the density of exploitation wells with a weight = 0.217 and the distance from the fault with a weight = 0.031 were ranked as first and last ranks, respectively. Comparison of multi-criteria decision-making models for the location process also indicated the same accuracy of both TOPSIS and WASPAS models. Therefore, the mean map of the two models was prepared and used to carry out the next steps of the research. Based on the results of the evaluation of the current monitoring network with the results of location (optimal network), 3 wells were identified as unsuitable wells. Also, based on the P value of the Petit test and the standard normal test, it was determined that all three wells were correctly selected as Heterogeneous wells. Based on the findings obtained from the PCA method 6 wells (numbers 8, 9, 15, 10, 32, and 37), were included in the group of wells with negative relative importance, and this wells were removed. The size of the standard error increased by 14% after removing the unimportant wells, and there was no significant difference. Therefore, based on the results of this study, less important wells can be removed from the monitoring network. Also, 40 wells located in the Gahkom Saadatabad plain was classified into 5 clusters.

Conclusion and Suggestions

The main objective of this research was to optimize the groundwater monitoring network from a quantitative and qualitative perspective using statistical and MCDM models. The results revealed the high efficiency and accuracy of MCDM methods. Based on the results of the location map of observed wells generated by the mentioned models, the study area was classified into 5 groups from very low priority to very high priority. Therefore, watershed managers can use the findings of this study to develop a monitoring network and issue new permits to drill new wells in suitable and unsuitable locations. Also, considering the importance of water monitoring in coastal areas, it is recommended to use the mentioned methods for other plains of Hormozgan province. In order to compare different statistical, hydrological and data mining methods such as machine learning models, it is suggested to use them simultaneously in future studies. On the other hand, in future studies for construction of ground water monitoring network, it is also recommended to use other effective criteria such as economic analysis criteria and the cost of constructing the monitoring network, criteria of distance and proximity to the sea, and criteria of distance and proximity to communication routes.

Keywords: Data mining, Gahkom Saadat Abad, groundwater, monitoring, multi criteria decision making models

Article Type: Research Article

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.

Author's Contribution

First author: guidance, conceptualization, performing software/statistical analyses, writing the first draft of the article, statistical analyses.
Second author: editing and revising the article, controlling the results.
Third author: statistical analysis.
Fourth and fifth authors: control of results.

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین با استفاده از مدل سلول خودکار- شبکهٔ عصبی مصنوعی (CA-ANN) در دشت داراب استان فارس

فاطمه عابدی[۱]، عطااله کاویان[۲*]، لیلا غلامی[۳]، وحید موسوی[۴]

۱- دانش‌آموختهٔ دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ایران
۴- استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

بررسی شیوهٔ کاربری و نوع پوشش زمین، نقش مهمی در برنامه‌ریزی مدیریت و حفاظت منابع ایفا می‌کند و زمینهٔ ارتقاء نگرش اصولی به ساختارهای زیست‌محیطی را فراهم می‌آورد. توسعهٔ شهری به‌طور قابل توجهی بر کاربری و پوشش زمین تأثیرگذار است. به این دلیل، در سال‌های گذشته بیش از نیمی از سطح زمین دست‌خوش تغییرات‌شده است و بیش از یک‌سوم مساحت زمین متعلق به زمین‌های کشاورزی است. مدیران و کارشناسان کاربری زمین با توجه به این تغییرات عمده، تأثیر تغییر کاربری زمین بر فرایندهای آب‌شناختی را بررسی کرده‌اند. در این راستا، به روش‌های یادگیری ماشین، مانند شبکهٔ عصبی مصنوعی (ANN) ماشین بردار پشتیبان (SVM)، جنگل تصادفی (RF)، درخت تصمیم (DT) و دیگر مدل‌ها، برای طبقه‌بندی پوشش/کاربری زمین‌های LULC توجه زیادی شده است. برنامه‌ریزان و مدیران می‌توانند از تغییرات پیش‌بینی‌شدهٔ LULC برای ارتقای مدیریت پایدار زمین و کاهش پیامدهای نامطلوب استفاده کنند. در نتیجه، تشخیص و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین (LULC) که ناشی از شهرنشینی سریع است، می‌تواند به اختلال در پایداری محیط زیست منجر شود. از سوی دیگر، شدت این تغییرات در پاسخ به رشد جمعیت

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات:** a.kavian@sanru.ac.ir
استناد: عابدی، ف.، کاویان، ع.، غلامی، ل.، موسوی، و. ۱۴۰۴. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین با استفاده از مدل سلول خودکار - شبکه عصبی مصنوعی (CA-ANN) در دشت داراب استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۲): ۸۲-۶۲.

شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.366754.1592

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۶/۲۵، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۶/ ۲۹، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی۱۴۷، تابستان، ۱۴۰۴، صفحه‌های ۶۲ تا ۸۲ .

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس
© نویسندگان

جهان و افزایش نیاز به غذا، ضرورت انجام پژوهش‌های دقیق در این باره را دوچندان می‌کند. ازاین‌رو، هدف این پژوهش، مشاهدهٔ تغییرات کاربری زمین در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ در منطقه داراب بود. همچنین در این پژوهش نیروی محرکه برای تغییرات LULC نیز شناسایی شد و از مدل سلول خودکار - شبکهٔ عصبی مصنوعی (CA-ANN) نیز برای تجزیه و تحلیل الگوها و روندهای پیش‌بینی‌شدهٔ کاربری زمین از سال ۲۰۳۴ تا ۲۰۴۴ استفاده شد.

مواد و روش‌ها

طبقه‌بندی کاربری زمین تصویرهای ماهواره‌ای با پیاده‌سازی روش طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل و نظارت به‌وسیلهٔ موتور جستجوگر گوگل ارث انجام شد. طبقه‌بندی کاربری زمین با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان SVM انجام شد. پس از تجزیه و تحلیل منطقهٔ مطالعه‌شده به پنج طبقهٔ کاربری گوناگون شامل مراتع، زمین‌های بایر، باغ، کشاورزی و شهری تقسیم شد. از آنجایی که برای ارزیابی تغییرات کاربری زمین به‌شکل مکانی و زمانی، مدل‌سازی توان انتقال و پیش‌بینی سناریوهای آینده سازگار است، از روش شبکهٔ عصبی مصنوعی-سلول خودکار (CA-ANN) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین استفاده شد. پلاگین MOLUSCE در QGIS برای ایجاد تغییرات مکانی-زمانی با یک دورهٔ زمانی ۲۰۳۴ تا ۲۰۴۴ و محاسبهٔ انتقال LULC برای تهیهٔ نقشهٔ تغییر LULC اجرا شد. هم‌چنین یک ماتریس توان انتقال میان سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰ برای تهیهٔ نقشهٔ تغییر ایجاد شد. روش نورون ادراکی چندلایه (ANN-MLP)-ANN برای مدل‌سازی توان انتقال استفاده شد. شیب، جهت، بلندی و فاصله از جاده، گسل و رود، سنجه‌های مکانی بودند که به‌عنوان سنجه‌های ورودی اجرا شدند. ساختار ANN-MLP، مکانی بود که لایهٔ ورودی به‌وسیلهٔ لایه‌های پنهان پردازش شد و لایهٔ خروجی شامل طبقه‌های LULC دوباره طبقه‌بندی‌شده بود.

نتایج و بحث

در این پژوهش، نقشه‌های تغییرات کاربری زمین (LULC) که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ تهیه شدند، نشان‌دهندهٔ افزایش چشمگیر وسعت زمین‌های کشاورزی در منطقه بودند. نتایج نشان داد بوم‌سازگان طبیعی این دشت به‌دلیل روند رو به رشد تغییرات و تبادلات کاربری زمین‌ها، با چالش‌های جدی مواجه خواهد بود. این تغییرات ناشی از بهره‌برداری‌های غیراصولی و غیرمنطقی از منابع در نتیجهٔ فعالیت‌های انسانی (شهرنشینی، کشاورزی نامناسب، حفر چاه‌ها و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای کشت باغ‌ها) است. این عامل‌ها می‌توانند سبب فرسایش و بیابان‌زایی در این منطقه شوند و تهدیدی جدی برای محیط زیست به‌شمار آیند. از سوی دیگر، تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی، با تغییرات قابل توجه و گسترده‌ای در زمین‌های بایر همراه است. نقشه‌های پیش‌بینی از سال ۲۰۳۴ تا ۲۰۴۴ نمایانگر رشد پیوسته در الگوی کاربری زمین‌های کشاورزی بود. در این راستا، درصد تغییرات این زمین‌ها از سال ۲۰۳۴ با مساحت ۴۵۵/۶۵ کیلومترمربع (۱۸/۵۲٪) به مساحت ۷۰۸/۸۱ کیلومترمربع (۲۸/۸۱٪) در سال ۲۰۴۴ افزایش یافت. صحت شبیه‌سازی ۸۲/۴۳٪ و اندازهٔ کاپا کلی ۰/۷۲ برآورد شد. بر اساس نتایج این پژوهش، در طول دورهٔ مطالعه‌شده، عامل‌های فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی تأثیر قابل‌توجهی بر الگوهای منظر داشتند. متغیرهای جغرافیایی موجود در واسنجی مدل به‌دلیل رابطهٔ معنی‌دار آن‌ها با LULC انتخاب شدند. می‌توان گفت که متغیرهای فیزیکی، مانند جغرافیا و آب و هوا، مهم‌ترین عامل در ترویج فعالیت‌های انسانی هستند. عامل‌های اجتماعی-اقتصادی، مانند جمعیت و تولید ناخالص داخلی، ممکن است بر تغییر LULC تأثیرگذار باشند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تغییر الگوهای LULC بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر منفی می‌گذارد و هم‌چنین امنیت غذایی را به خطر می‌اندازد. برای طبقه‌بندی LULC، از ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای مشاهدهٔ دقیق تغییرات پوشش زمین و روند آن استفاده شد. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت هرگونه تغییر در کاربری زمین‌ها می‌بایست بر اساس روشنگری‌های منطقی و برنامه‌ریزی‌شده مبتنی بر اصول علمی باشد؛ به‌طوری‌که استفاده از روش‌های به‌روز و کارآمد همچون روش سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی لازم و ضروری است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود که

نقشه‌های پیش‌بینی‌شده برای آینده از وضعیت کاربری زمین‌ها در این پژوهش، الگویی برای برنامه‌ریزی آمایش سرزمین به‌وسیلهٔ برنامه‌ریزان، مسئولان و متصدیان مربوطه باشد تا به این شیوه، از بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر محیطی (تخلیه منابع آب زیرزمینی، بیابان‌زایی، فرونشست زمین) در دشت داراب در آینده جلوگیری شود. با توجه به افزایش نرخ مساحت تحت پوشش کاربری کشاورزی، روند زمین‌های بایر در نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده کاهشی بود. همچنین، عامل محرک تغییر کاربری زمین‌ها در داراب وابسته به نرخ سریع افزایش جمعیت، افزایش تقاضا و تبدیل دیگر کاربری‌ها به کشاورزی، باغ و مناطق مسکونی، بود.

واژگان کلیدی

پلاگین MOLUSCE، ماشین بردار پشتیبانی (SVM)، مدل ANN-MLP، QGIS، موتور گوگل ارث

مقدمه

بررسی شیوهٔ کاربری و نوع پوشش زمین، نقش مهمی در برنامه‌ریزی مدیریت و حفاظت منابع ایفا می‌کند و نوع پوشش زمین، نقش مهمی در برنامه‌ریزی مدیریت و حفاظت منابع ایفا می‌کند و زمینهٔ ارتقاء نگرش اصولی به ساختارهای زیست‌محیطی را فراهم می‌آورد. توسعهٔ شهری به‌طور قابل توجهی بر کاربری و پوشش زمین تأثیرگذار است (دی و همکاران، ۲۰۲۱؛ آنگ و همکاران، ۲۰۲۰). تأثیرات ناشی از تغییر کاربری زمین، به‌ویژه شهرنشینی سریع، موجب اختلال در پایداری محیط زیست می‌شود. رشد جمعیت، توسعهٔ اقتصادی و گسترش کشاورزی، عامل‌های محرک و تحول در پوشش‌های گوناگون زمین (پوشش گیاهی و آب) هستند. این تحولات پیوسته در کاربری زمین باعث نابودی محیط‌زیست می‌شود. از سوی دیگر، شدت این تغییرات در پاسخ به رشد جمعیت جهان و افزایش نیاز به غذا، ضرورت انجام پژوهش‌های دقیق در این باره را دوچندان می‌کند.

در این پژوهش، به‌منظور طبقه‌بندی تصویرها، از روش ناسنجه‌ای ماشین بردار پشتیبان (SVM[1]) که روش نسبتاً جدیدی برای طبقه‌بندی تصویرها شناخته‌شده است، استفاده شد. SVM به‌عنوان یک طبقه‌بندی ناسنجه‌ای، شامل مجموعه‌ای از مدل‌های یادگیری است که قابلیت استفاده برای طبقه‌بندی و وایازی را دارد (کورتس و واپنیک، ۱۹۹۵؛ واپنیک، ۱۹۹۸). در این راستا، به روش‌های یادگیری ماشین، مانند شبکهٔ عصبی مصنوعی(ANN[2])، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، جنگل تصادفی(RF[3])، درخت تصمیم(DT[4]) و دیگر مدل‌ها، برای طبقه‌بندی پوشش/کاربری زمین‌های LULC توجه زیادی شده است (تالوکدار و همکاران ۲۰۲۰؛ ژانگ و همکاران ۲۰۱۹). در پژوهش‌های پرشماری گزارش‌شده است که دقت شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و جنگل تصادفی (RF) در مقایسه با دیگر روش‌های مرسوم طبقه‌بندی بیشتر است (کارانزا-گارسیا و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، SVM و جنگل تصادفی (RF) به‌عنوان بهترین رویکردها برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین (LULC) در مقایسه با دیگر روش‌های یادگیری ماشین معرفی شده‌اند (ما و همکاران ۲۰۱۷؛ مونترکیس و همکاران، ۲۰۱۱). تحلیل پویایی تغییرات کاربری زمین در درازمدت، به‌منظور درک و ارزیابی تغییرات مختل در محیط، اهمیت زیادی دارد و می‌توان به اهداف توسعه پایدار دست یافت (دی و همکاران، ۲۰۲۱؛ روبن و

1- Support vector machine

2- Artificial Neural Network
3- Random Forest
4- Decision Tree

همکاران، ۲۰۲۰). در این راستا، برای ارائهٔ تصمیم‌ها و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و توسعهٔ پایدار به‌شکل منطقی و علمی، می‌توان از مدل‌های پیش‌بینی الگوهای کاربری زمین استفاده کرد و از نتایج اولیهٔ بررسی‌های گذشته برای ساخت سناریوهای آینده تغییرات کاربری و پوشش زمین استفاده کرد. مدل‌سازی پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین، چشم‌انداز جذابی برای برنامه‌ریزی‌های کاربردی در واحدهای برنامه‌ریزی نظیر رود ایجاد می‌کند و آن را به ابزاری مؤثر برای تحلیل ژرف پویایی چشم‌انداز آینده تحت سناریوهای گوناگون تبدیل می‌کند (وانگ و همکاران ۲۰۲۱). برنامه‌ریزان و مدیران می‌توانند از تغییرات پیش‌بینی‌شده LULC برای ارتقاء مدیریت پایدار زمین و کاهش پیامدهای نامطلوب استفاده کنند. در این راستا، تشخیص و پیش‌بینی تغییر LULCبه موضوعی اساسی در زمینه‌های گوناگون، از جمله حفاظت محیط‌زیست، اولویت‌بندی تلاش‌های حفاظتی، مدل‌سازی برنامه‌ریزی روستایی و شهری (تئوبالد و هابز ۱۹۹۸؛ پوسویچ و همکاران ۲۰۰۸) و بررسی فرآیندهای نابودگر (لامچین و همکاران، ۲۰۱۸) تبدیل‌شده است. نتایج پژوهش‌ها بیانگر آن است که روش CA-ANN مؤثرتر از وایازی خطی است (فراس بیگ و همکاران ۲۰۲۲). ازاین‌رو، ماژول‌های پلاگین شبیه‌سازی تغییر کاربری (MOLUSCE) برای مدل‌سازی توان انتقال و شبیه‌سازی آینده به‌کار گرفته شده‌اند (رحمان و همکاران ۲۰۱۷؛ الطنطاوی و همکاران ۲۰۱۹)، و MOLUSCE برای ارزیابی تغییرات کاربری زمین به‌شکل مکانی و زمانی، مدل‌سازی توان انتقال و پیش‌بینی سناریوهای آینده سازگار است (رحمان و همکاران ۲۰۱۷). در این راستا، جمال و همکاران (۲۰۱۰) از داده‌های لندست در چندین دورهٔ زمانی (۲۰۰۸-۱۹۷۲) برای بررسی کاربری زمین و تغییرات پوشش زمین در مصر استفاده کردند. از سوی دیگر، تصویرهای لندست در چندین سال برای ارزیابی روندهای LULC در Rwanda استفاده شد (آکینیمی ۲۰۱۷). تغییرات LULC در بلندی‌های کامرون با استفاده از طبقه‌بندی تصویر SVM مشاهده شد و نتایج بیانگر دقت این روش‌ها در بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین بود (محمدی و همکاران ۲۰۱۹). در چین، وانگ و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر تغییر کاربری زمین بر ارزش خدمات بوم‌سازگان در منطقه شهری سوژو-وکسی-چانگژو، را شبیه‌سازی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دقت مدل مارکوف FLUS با ضریب کاپا ۰/۹۴ در پیش‌بینی الگوی مکانی کاربری زمین زیاد بود. امبارکو همکاران (۲۰۲۴) تأثیر ترکیبی سناریوهای تغییر اقلیم و تغییرات کاربری زمین بر منابع آب در یک آبخیز نیمه‌خشک را بررسی کردند. نتایج بیانگر افزایش میانگین دما، به‌ویژه در طول ماه‌های تابستان بود و تغییرات LULC نشان داد که منطقه تا سال ۲۰۵۰ با کاهش قابل‌توجه زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها و گسترش خاک برهنه روبه‌رو خواهد بود. کاویان و همکاران (۲۰۱۷) اثرات تغییرات کاربری زمین بر فرسایش خاک را با استفاده از مدل RUSLE شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان‌دهندهٔ رابطهٔ مستقیم میان تلفات خاک تغییرات کاربری زمین بود. مدیران و کارشناسان کاربری زمین به‌دلیل این تغییرات عمده، تأثیر تغییر کاربری زمین بر فرآیندهای آب‌شناختی را بررسی کرده‌اند (کاویان و همکاران ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، فی و همکاران ۲۰۱۸). در پژوهشی کاویان و همکاران (۲۰۲۰) اثرات آب‌شناختی تغییرات کاربری زمین بر یک آبخیز را با استفاده از مدل‌های زنجیره مارکوف و WetSpa ارزیابی کردند. نتایج شبیه‌سازی برخی از اثرات منفی تغییرات LU را بر آب‌دهی اوج و سرعت جریان نشان داد. نتایج پژوهش‌های نامبرده بیانگر

1- Land Use Change Simulation Plugin Modules

تغییرات کاربری و پوشش زمین در سراسر کرهٔ زمین در سال‌های اخیر است که این تغییرات به نوبه خود باعث برهم خوردن تعادل بوم‌سازگان، محیط زیست و منابع‌طبیعی مناطق گوناگون می‌شود. ازاین‌رو، بررسی تغییرات کاربری زمین، تبادلات و یا نابودی آنها در سال‌های گذشته و پیش‌بینی در سال‌های آینده در مناطق گوناگون از اقدام‌های مهم و قابل توجه برای جلوگیری از رخداد تغییرات بدون برنامه، غیراصولی و هم‌چنین استفاده مطلوب از منابع طبیعی است.

در این راستا، دشت داراب به‌دلیل موقعیت مکانی و اهمیت کاربری کشاورزی آن در استان فارس و شهرنشینی و صنعتی شدن سریع می‌تواند چالشی برای پایداری منطقه باشد. همچنین، تاکنون در این دشت، هیچگونه پژوهشی با استفاده از روش‌های نامبرده برای بررسی تغییرات و تبادلات کاربری زمین انجام‌نشده است. بررسی‌های پیشین نیز بیانگر وجود نگرانی‌هایی برای کیفیت داده‌ها، ناسازگاری داده‌ها، هماهنگی داده‌ها، اعتبارسنجی داده‌ها و نبودن قطعیت‌های مرتبط با داده‌ها است (ند و همکاران ۲۰۲۱). از سوی دیگر، بوم‌سازگان طبیعی این دشت به‌دلیل روند رو به رشد تغییرات و تبادلات کاربری زمین‌ها، با چالش‌های جدی مواجه است. این تغییرات ناشی از بهره‌برداری‌های غیراصولی و غیرمنطقی از منابع در نتیجهٔ فعالیت‌های انسانی (شهرنشینی، کشاورزی نامناسب، حفر چاه‌ها و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای کشت باغ‌ها) است و این عامل‌ها منطقه را با خطر جدی فرسایش و بیابان‌زایی روبه‌رو خواهد ساخت. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در سه بازه سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ در منطقهٔ داراب (استان فارس) اجرا شد.

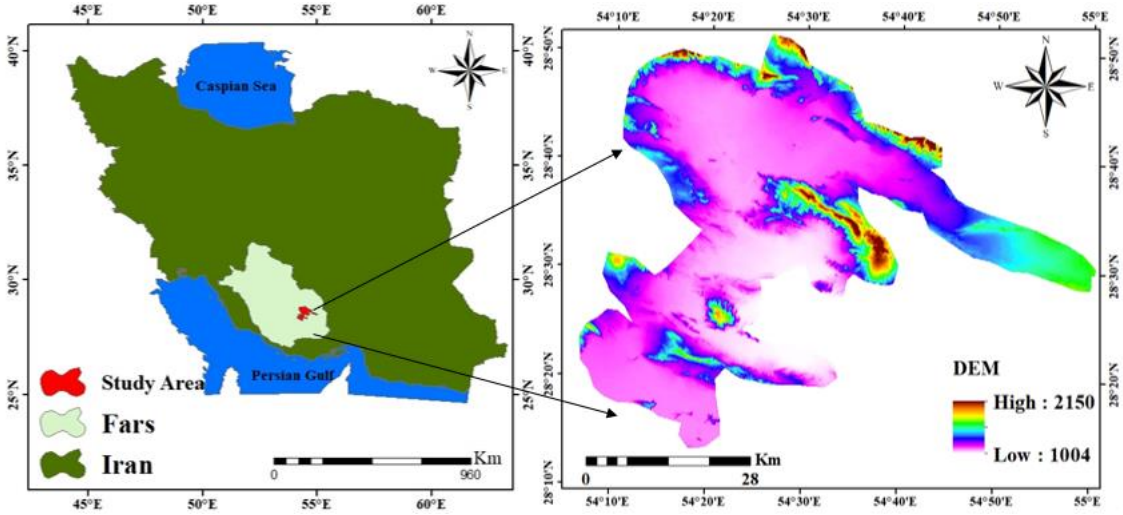
همچنین، در این پژوهش نیروی محرکه برای تغییرات LULC شناسایی شد و از مدل SVM برای طبقه‌بندی LULC در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل الگوها و روندهای پیش‌بینی‌شده کاربری زمین از سال ۲۰۳۴ تا ۲۰۴۴ شبیه‌سازی با استفاده از مدل نیز CA-ANN[1] انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

دشت داراب با مساحت ۲۴۶۴/۴۳ کیلومترمربع در استان فارس است. آب و هوای این منطقه بر پایهٔ تقسیم‌بندی دومارتن گرم و خشک است و میانگین بارندگی و دمای سالانهٔ آن به‌ترتیب ۲۵۵ میلی‌متر و ۲۲°C است. حجم بیش‌تر بارندگی منطقهٔ مطالعه‌شده در فصل‌های سرد سال رخ داده و ژانویه پرباران‌ترین ماه سال است. در تابستان به‌دلیل دور بودن منابع رطوبتی و مسیرهای ورودی بخار آب، و گاهی نبودن عامل صعود، هوا بسیار گرم و خشک (کویری) است. منطقه از نظر پستی‌بلندی مسطح است و بیشترین و کمترین بلندی منطقه به‌ترتیب ۲۱۵۰ و ۱۰۰۴ متر است (شکل ۱). وضعیت رطوبتی خاک‌های داراب یوستیک و وضعیت حرارتی آن هایپرترمیک است. رده‌بندی خاک‌ها در سطح راسته انتی‌سولز و اینسپتی‌سولز می‌باشد. کاربری زمین شامل کشاورزی (باغ‌های مرکبات پرتقال، لیموترش، لیموشیرین، نارنگی، نخل، انجیر، انگور و گل‌محمدی) و زراعی (گندم، ذرت، پنبه و جو) و مسکونی می‌باشد.

1- Cellular Automata-Artificial Neural Network



شکل۱- موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده در ایران و استان فارس.

Figure 1- The location of the studied area in Iran and the Fars Province.

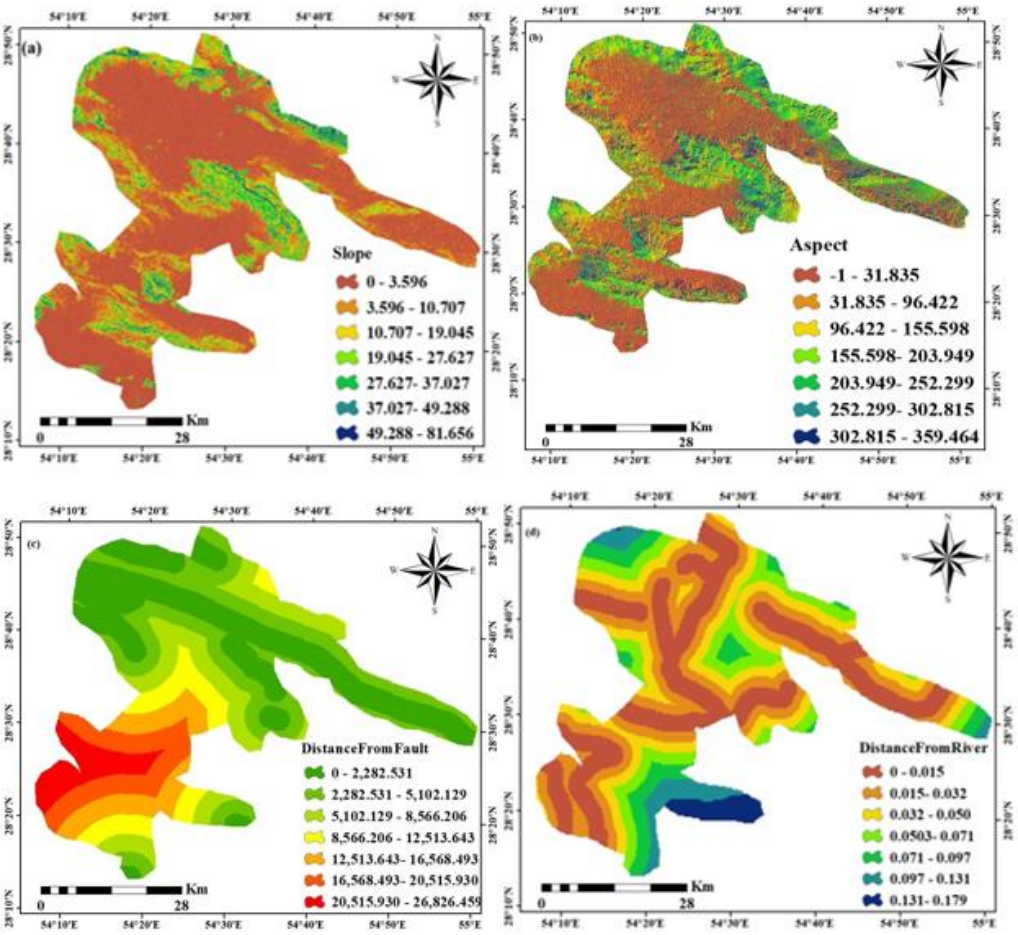
روش پژوهش

جمع‌آوری و پردازش داده‌ها

تصویرهای لندست برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ به‌منظور طبقه‌بندی تصویرها در راستای شناسایی الگوهای کاربری زمین و ایجاد نقشه‌های LULC استفاده شد. تصویرهای ماهواره‌ای لندست-۷ برای سال ۲۰۰۰ به‌دست آمد. به‌شیوهٔ مشابه، تصویرهای ماهواره‌ای لندست-۸ برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ به‌دست آمد. تصویرهای لندست با وضوح مکانی ۳۰ متر با پوشش ابری کمتر از پنج درصد فقط برای حفظ کیفیت و شرایط آب و هوایی یکنواخت در طول دورهٔ پژوهش انتخاب شدند (گائو و لیو ۲۰۱۰). تصویرهای لندست از USGS با استفاده از پورتال وب کاوشگر زمین (https://glovis usgs gov/) دریافت شد. تصویرهای ماهواره‌ای تجزیه و تحلیل و پردازش شدند (زمین مرجع و استخراج) برای تصحیح تصویرهای مکانی آن برای شناسایی الگوهای کاربری زمین در تصویرهای لندست از ترکیب باندهای پرشماری استفاده شد.

باندهای مرئی (قرمز، سبز و آبی) ۳، ۴ و ۵ برای تصویرهای لندست-۷ و نوارهای ۴، ۵ و ۶ برای تصویرهای لندست-۸ استفاده شد. مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری (DEM) نیز از پورتال وب USGS به‌دست آمد (ساجان و همکاران ۲۰۲۲). همچنین، از یک مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۱۰ متر که به‌وسیلهٔ سازمان زمین‌شناسی تهیه شده بود، استفاده شد. با کمک نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های مکانی شامل شیب و جهت زمین تولید و تحلیل گردید. داده‌های حمل و نقل، شبکه‌های جاده‌ای، گسل‌ها و رودها از سازمان زمین‌شناسی تهیه شد. در محیط ArcGIS برای یافتن فاصله از جاده‌های اصلی گسل‌ها و رودها، از روش فاصله اقلیدسی[1] استفاده شد. Google Earth و تصویرهای ماهواره‌ای نیز برای مرجع و درک بهتر توزیع کاربری زمین استفاده شد. سنجه‌های مکانی استفاده‌شده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در شکل ۲ نشان‌داده شده است (فراس‌بیگ و همکاران ۲۰۲۲).

1- Euclidean Distance Method



شکل۲- نقشهٔ سنجه‌های مکانی به‌ترتیب شیب، جهت شیب، فاصله از گسل و رود.

Figure 2- Map of spatial parameters respectively, slope, slope direction, distance from fault and river.

طبقه‌بندی کاربری زمین و ارزیابی دقت

طبقه‌بندی کاربری زمین تصویرهای ماهواره‌ای با پیاده‌سازی روش طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل و نظارت در محیط موتور گوگل ارث انجام شد. پس از تجزیه و تحلیل، منطقه مطالعه‌شده به پنج طبقهٔ کاربری گوناگون شامل مراتع، زمین بایر، باغ، کشاورزی و شهری تقسیم شد. بر اساس طبقه‌های LULC، نمونه‌های آموزشی با استفاده از نقاط تعلیمی تعریف‌شده در مکان‌های مختلف طبقه‌های کاربری مختلف جمع‌آوری شد. سپس نمونه‌های آموزشی جمع‌آوری‌شده بسته به پوشش زمین گروه‌بندی شد. درمجموع ۱۰۰ نمونه آموزشی برای هر یک از شش طبقه کاربری زمین در نظر گرفته شد و برای طبقه‌بندی تصویر جمع‌آوری شد. سپس، پرونده نقاط تعلیمی به‌عنوان مجموعه داده آموزشی با هدف طبقه‌بندی نظارت‌شده ایجاد شد. طبقه‌بندی کاربری زمین با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام شد. ماشین بردار پشتیبان به تعداد زیادی از نمونه‌های حقیقت زمینی برای آموزش نیاز ندارد و فرض می‌کند که داده‌ها از یک توزیع احتمال خاص انتخاب شده‌اند (مونتراکیس و همکاران ۲۰۱۱) و فقط نمونه‌های موجود در حاشیه میان طبقه‌ها برای ایجاد ابر صفحه بهینه در SVM استفاده می‌شود و آن‌ها به‌عنوان بردارهای پشتیبانی هستند (کورتس و

واپنیک ۱۹۹۸). برای منطقه مطالعه‌شده دقت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با مقایسه نقشه‌های کاربری زمین ایجادشده برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴، با تصویرهای ماهواره‌ای ارجاع‌شده (تصویرهای لندست) و نقشه‌های کاربری عمومی (موجود در سازمان منابع‌طبیعی) ارزیابی شد. به‌منظور افزایش دقت، نتایج طبقه‌بندی خروجی قبل از به‌روزرسانی با معرفی مجموعه‌های آموزشی جدید، چندین بار به‌شکل قابل مشاهده، بررسی شد. به‌منظور محاسبه دقت نقشه‌های موضوعی طبقه‌بندی‌شده، نقاط نمونه به‌طور تصادفی روی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با استفاده از GIS توزیع شد. تصویرها با وضوح زیاد مشاهده شد و اعتبارسنجی انتخاب‌شده، انجام شد. هر موقعیت نقطه بر اساس چندضلعی که در آن بود، تجزیه و تحلیل شد و با تصویر مرجع مقایسه شد. سپس، نقاط نمونه به یک ماتریس سردرگمی[1] تبدیل شدند و ماتریس سردرگمی برای تعیین ضریب کاپا[2] (کنگالتون و گرین ۲۰۰۹)، دقت کلی و دقت کاربر و تولیدکننده (لالیبرت و همکاران ۲۰۰۲) استفاده شد. سنجه‌های مدل SVM به‌دنبال شناسایی بهترین هایپرپلین است که مرز طبقه را در مرحلهٔ آموزش تعریف می‌کند (واپنیک ۱۹۹۸).

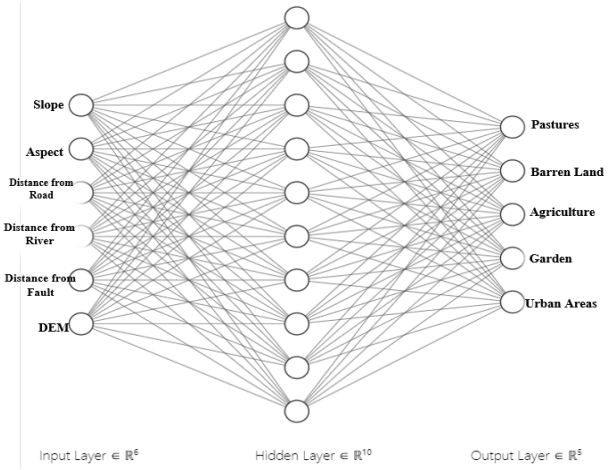
مدل سلول خودکار - شبکه عصبی مصنوعی (CA-ANN)

ماژول‌های شبیه‌سازی برای به حداقل رساندن پویایی سازه‌های شهری مرکب و تفسیر آن‌ها به شیوه‌ای واضح و قابل‌دسترس استفاده شدند. نتایج پژوهش‌ها بیانگر آن است که روش CA-ANN مؤثرتر از وایازی خطی است (فراس‌بیگ و همکاران ۲۰۲۲). ازاین‌رو، ماژول‌های پلاگین شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین (MOULSCE) برای مدل‌سازی توان انتقال و شبیه‌سازی آینده پیاده‌سازی شدند (رحمان و همکاران ۲۰۱۷، الطنطاوی و همکاران ۲۰۱۹).

MOLUSCEبرای ارزیابی تغییرات کاربری زمین مکانی و زمانی، مدل‌سازی توان انتقال و پیش‌بینی سناریوهای آینده سازگار است (رحمان و همکاران ۲۰۱۷). شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در رابطهٔ با سلول خودکار (CA) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین استفاده شد. CA-ANN به‌دلیل ظرفیت شبیه‌سازی پویایی، کارایی زیاد با داده‌های محدود، واسنجی ساده و توانایی بازتولید پوشش‌های متفاوت زمین و الگوهای پیچیده، برای شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین انتخاب شد. CA-ANN، از زنجیره CA و Markov برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در دسته‌های مختلف استفاده می‌کند. ANN در مدل‌سازی توان انتقال برای ایجاد روندهایی که بر اساس آن پیش‌بینی‌های آینده انجام خواهد شد، استفاده شد (معماریان و همکاران ۲۰۱۲). پلاگین MOLUSCEدر QGIS برای ایجاد تغییرات مکانی-زمانی با یک دورهٔ زمانی ۲۰۳۴ تا ۲۰۴۴ استفاده شد و محاسبهٔ انتقال LULC برای ایجاد نقشهٔ تغییر LULCاجرا شد. هم‌چنین یک ماتریس توان انتقال میان سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰ برای ایجاد نقشهٔ تغییر ایجاد شد. روش نورون ادراکی چندلایه[3] (ANN-MLP)-ANN برای مدل‌سازی توان انتقال استفاده شد.

شیب، جهت، بلندی و فاصله از جاده، گسل و رود سنجه‌های مکانی بودند که به‌عنوان سنجه‌های ورودی اجرا شدند. ساختار ANN-MLP در شکل ۳ نشان داده‌شده است، مکانی است که لایه ورودی به‌وسیلهٔ لایه‌های پنهان پردازش می‌شود و لایه خروجی طبقه‌های LULC دوباره طبقه‌بندی‌شده را تولید می‌کند.

1- Confusion Matrix
2- Overall, Kappa Coefficient
3- ANN-multilayer perception method



شکل ۳- ساختار مدل ANN-MLP استفاده‌شده برای پیش‌بینی توان انتقال کاربری زمین.

Figure 3- Structure of the ANN-MLP model used to predict land use transition potential.

مدل توان انتقال بر اساس نقشه‌های LULC سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ و سنجه‌های مکانی برای تولید نقشهٔ پیش‌بینی‌شدهٔ سال ۲۰۲۴ آموزش داده شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل ANN، نقشهٔ شبیه‌سازی‌شده سال ۲۰۲۴ با نقشهٔ طبقه‌بندی‌شدهٔ LULC سال ۲۰۲۴ مقایسه شد. نتایج این مقایسه مطلوب و رضایت‌بخش بود. سپس، مدل با نرخ یادگیری ۰/۰۰۱ و تکانه ۰/۰۰۱ آموزش داده شد. فرآیند آموزش ANN برای ۱۰۰ تکرار و اندازهٔ همسایگی ۳ پیکسل با ۱۰ لایهٔ پنهان اجرا شد. سپس مدل آموزش‌دیده برای به‌دست آوردن نقشه‌های پیش‌بینی شده سال‌های ۲۰۳۴-۲۰۴۴ شبیه‌سازی شد.

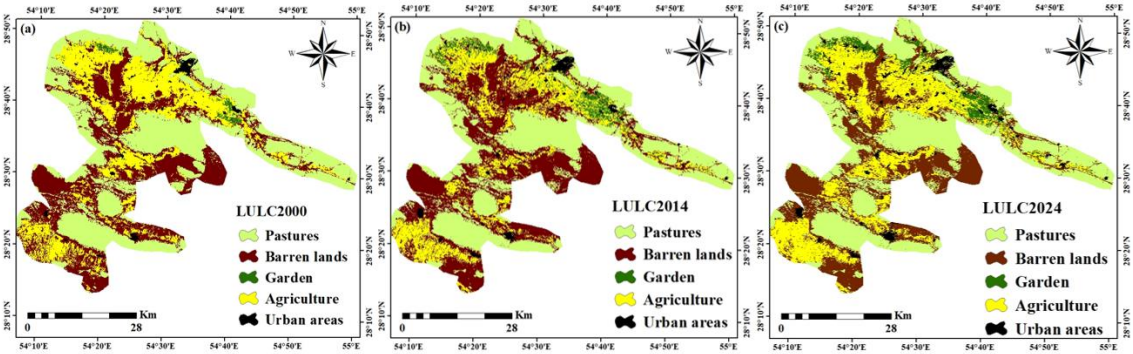
نتایج و بحث

تغییرات کاربری و پوشش زمین در دشت داراب از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴

بر اساس نقشه‌های طبقه‌بندی‌شدهٔ LULC برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ منطقه مطالعه‌شده به پنج طبقه (مراتع، زمین بایر، باغ، کشاورزی و شهری) طبقه‌بندی شد. تغییرات LULC در طول دو دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ و ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ بررسی شد (شکل ۴).

بر اساس شکل ۴، مناطق کشاورزی، باغی و شهری به‌عنوان عمده‌ترین انواع کاربری زمین در منطقه بررسی‌شده بودند. توزیع کل مساحت تحت پوشش طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش آن‌ها در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ در جدول ۱ نشان‌داده شده است. بر اساس جدول ۱، روند مناطق کشاورزی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ کاهشی بود. در کل پوشش منطقه روند مناطق باغی میان سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، افزایشی بود. در منطقهٔ شاهد کاهش مراتع و تبدیل آن به کشاورزی، باغ و مناطق مسکونی مشاهده شد. رشد مناطق شهری و زمین بایر در طول دوره قابل‌توجه بود. نتایج طبقه‌های کاربری زمین نشان‌دهندهٔ تغییرات منفی در مراتع و کشاورزی بود. درحالی‌که تغییرات مثبت و افزایشی در زمین بایر، باغ و مناطق شهری مشاهده شد. دیاز و همکاران (۲۰۱۱) آشکارسازی تغییرات کاربری زمین شیلی را با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین[۱] (LCM) بررسی کردند. یکی از نتایج بررسی آن‌ها نشانگر کاهش سطح زمین کشاورزی بود؛ که با نتایج این پژوهش مربوط به سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ مطابقت دارد.

۱ Land Change Modeler (LCM)



شکل۴- LULC به‌ترتیب سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴.

Figure 4- LULC 2000, 2014 and 2024 years respectively.

جدول۱- پوشش کل مساحت طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش آنها در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴.

Table 1- Total area coverage according to different LULC classes and coverage percentage for 2000 to 2014.

	Area (km^2)			Area (%)		
LULC	2000	2014	Δ	2000	2014	Δ
Pastures	1002.35	955.24	-47.11	40.75	38.83	-1.91
Barren lands	793	862.38	69.37	32.24	35.06	2.82
Garden	22.96	88.76	65.8	0.93	3.6	2.67
Agriculture	602.9	490.75	-112.15	24.51	19.95	-4.56
Urban areas	38.47	62.56	24.09	1.56	2.54	0.97

توزیع کل مساحت تحت پوشش طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش آن‌ها در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۲۴ با استفاده از لندست-۸ در جدول ۲ نشان‌داده شده است. در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ کاهش زمین‌های بایر منطقهٔ بررسی‌شده ۶/۷۶ ٪ بود. افزایش زمین کشاورزی ۵/۷۶٪ بود. پوشش کل مساحت طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش آنها در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ (لندست-۸) در جدول ۲ آورده‌شده است. پیکر و همکاران (۲۰۱۲) پژوهشی در منطقه‌ای حفاظت‌شده در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیرهٔ مارکوف و سلول‌های خودکار انجام دادند و وضعیت تغییرات کاربری زمین منطقهٔ مطالعه‌شده را بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها بیانگر افزایش دو نوع کاربری کشاورزی و مسکونی در مقایسه با دیگر کاربری‌ها در منطقه بود؛ که با نتایج این پژوهش در دورهٔ زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ مطابقت دارد. در پژوهشی ملکی (۲۰۱۴) اهمیت وجود سد را برای افزایش مساحت کاربری کشاورزی تأیید کرد. این پژوهشگر گزارش کرد که علت افزایش ۳/۴٪ مساحت کاربری کشاورزی در آغاز دوره، شرایط سکونت به‌دلیل نبودن تبعات جنگ و زمین‌های کشاورزی رهاشده بود که با بازگشت مردم، کشاورزی رونق دوباره گرفته است. ایشان دریافت که در محدوده تالاب هورالعظیم دلیل افزایش کاربری مسکونی و کشاورزی، کاهش سطح آب تالاب بود، که دلیل آن ساخت سد کرخه و آب‌گیری یک سال پس از بررسی و افزایش مساحت در پیرامون رود کرخه به علت خاک مناسب، آب و نزدیکی مزارع به رود بود. این یافته‌ها در پژوهش محمدی (۲۰۱۴) در منطقه حفاظت‌شدهٔ کرخه نیز گزارش شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که در دورهٔ ۳۰ ساله ۲۲۶۶ هکتار به مساحت کاربری انسان‌ساخت، افزوده‌شده است. همچنین، در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا

۲۰۲۴ زمین‌های کشاورزی افزایش یافت. دلیل افزایش زمین‌های کشاورزی در منطقه داراب می‌تواند احداث دو سد رودبار و خسویه (در میان سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴) باشد. قادری و همکاران (۲۰۲۰) افزایش سطح زمین‌های بایر در بخش اشتهارد شهرستان کرج در سال ۱۴۱۹ را پیش‌بینی کردند که با پیش‌بینی‌های رهنما و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر افزایش زمین‌های بایر در شهر مشهد در سال ۲۰۳۰، مطابقت دارد. افزایش زمین بایر به‌دلیل وجود شش گنبد نمکی (کرسیاه، دارابگرد، گزطویله، تنگ خسویه، باینوج و قیاسی) در محدوده مطالعه‌شده بود.

جدول۲- پوشش کل مساحت طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش آنها در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴.

Table 2- Total area coverage according to different LULC classes and percent coverage for 2014 to 2024.

	Area (km^2)		Area (%)		
LULC	2024	Δ	2014	2024	Δ
Pastures	946.52	-8.73.	38.84	38.48	-0.36
Barren lands	696.02	-166.35	35.06	28.30	-6.76
Garden	100.37	11.61	3.61	4.08	0.47
Agriculture	632.62	141.87	19.95	25.72	5.77
Urban areas	84.16	21.6	2.54	3.42	0.88

نقشه‌های LULC منطقه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در شکل ۴ نشان‌داده شده است. بر اساس این نقشه‌ها بیشترین تغییرات از زمین بایر به کشاورزی بود. یمانی‌هرسینی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای لندست و IRS و طبقه‌بندی تصویرهای مربوطه با روش بیشترین احتمال، نقشهٔ کاربری زمین استان همدان را تهیه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر آن بود که اندازهٔ مساحت زمین مرتعی و زمین کوهپایه‌ای-صخره‌ای در طول سه دههٔ گذشته کاهش‌یافته است و زمین‌های کشاورزی افزوده‌شده است. در شهر اهواز امانپور (۲۰۱۷) گزارش کرد که زمین‌های بایر ۲۳٪ کاهش یافته است که دلیل آن رشد پراکنده و بدون برنامه‌ریزی شهر است. نتایج این پژوهش نیز بیانگر کاهش زمین‌های بایر در منطقه داراب بود که دلیل آن می‌تواند احداث سد کرخه و رونق کشاورزی باشد و در این راستا با نتایج پژوهش امانپور (۱۳۹۶) هماهنگی دارد. شکل‌ها و جدول‌های این پژوهش بیانگر تغییرات LULC دشت داراب میان دو دوره، از ۲۰۱۴-۲۰۰۰ و ۲۰۲۴-۲۰۱۴ است. تغییرات هر طبقه LULC از نظر مساحت در دو دورهٔ نامبرده در جدول ۳ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج این جدول از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ افزایش زمین‌های کشاورزی چشمگیر بود که مهم‌ترین دلیل آن افزایش جمعیت و در راستای آن افزایش تقاضا است. عامل‌های اصلی مرتبط با توسعه روزافزون کاربری زمین‌ها همراه با فشار بر منابع آب زیرزمینی را می‌توان به گسترش شهری و رشد کشاورزی تجاری نسبت داد (عباس و همکاران ۲۰۲۱). شهرنشینی سریع محیط طبیعی و الگوهای چشم‌انداز را در سراسر جهان، به‌ویژه در قرن بیست و یکم، به‌شدت تغییر داده است (ستو و کافمن ۲۰۰۳). مهم‌ترین عامل‌های محرک شهرنشینی جنبه‌های فیزیکی و اجتماعی مانند پستی‌بلندی، جمعیت و رشد صنعتی است (یین و همکاران ۲۰۱۱). درنتیجه، گسترش شهری بیشتر تحت تأثیر رشد اقتصادی است تا افزایش جمعیت (گوانججین و همکاران ۲۰۱۶). این توسعه‌ها می‌تواند دلیل نگرانی‌هایی برای اثرات شهرنشینی و اختلال در الگوهای کاربری زمین باشد که تأثیراتی بر تغییرات آب و هوایی، امنیت غذایی و منابع طبیعی دارند. نتایج طبقه‌بندی LULC نشان داد که تغییر الگوهای

کاربری زمین به‌وسیلهٔ سیاست‌های دولت پشتیبانی می‌شود (عبدالله ۲۰۱۲، غلام‌حسن و همکاران ۲۰۱۸).

جدول۳- پوشش کل مساحت طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش آنها در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴.

Table 3- Total area coverage according to different LULC classes and percent coverage for the year 2000 to 2024.

	Area (km^2)			Area (%)		
LULC	2000	2024	Δ	2000	2024	Δ
Pastures	1004.34	948.57	-55.78	40.78	38.52	-2.26
Barren lands	793.83	696.71	-97.12	32.24	28.29	-3.94
Garden	22.96	100.38	77.42	0.93	4.08	3.14
Agriculture	602.99	632.75	29.76	24.49	25.69	1.21
Urban areas	38.47	84.18	45.71	1.56	3.42	1.86

ارزیابی دقت نقشه‌های LULC

دقت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده LULC با مقایسه طبقه‌های کاربری زمین با داده‌های حقیقت زمینی تصویر ماهواره‌ای (مرجع) ارزیابی شد. رویکرد ارزیابی دقت پیکسل به پیکسل بر اساس آن ۱۵۰ نقطه تصادفی روی نقشه‌های LULC در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ ایجاد شد. نقاط انتخاب‌شده با تصویرهای ماهواره‌ای و نقشه‌های مکانی منطقه مطالعه‌شده ارجاع داده شد. نقاط انتخاب‌شده نشان‌دهندهٔ طبقه‌های گوناگون کاربری زمین بودند که برای طبقه‌بندی تصویر استفاده شد. یک ماتریس پیچیده با استفاده از داده‌های مرجع برای شناسایی پیکسل‌های اشتباه طبقه‌بندی‌شده به‌وسیلهٔ طبقه‌بندی تصویر، ایجاد شد. درصد دقت را بر اساس نقاط تولیدشدهٔ طبقه‌بندی‌شده (دقت تولیدکننده) و نقاط مرجع (دقت کاربر) و دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد. طبقه‌بندی کاربری زمین برای دستیابی به دقت مطلوب بر اساس طرح طبقه‌بندی اندرسون[1] انجام شد. کمترین دقت کلی ۸۵٪ در طبقه‌بندی کاربری زمین رضایت‌بخش در نظر گرفته شد (هینده و همکاران ۲۰۱۵). تجزیه و تحلیل ماتریس سردرگمی تولیدشده به‌ترتیب به‌دقت کلی ۰/۹۲٪، ۰/۹۴٪ و ۰/۹۶٪ برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ منجر شد. ضریب کاپا مربوطه برای نقشه‌های LULC در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۴ به‌ترتیب ۰/۹۱، ۰/۹۲ و ۰/۹۳ ٪ بود.

مدل‌سازی و اعتبارسنجی توان انتقال[2]

تغییرات انتقالی که طبق‌های گوناگون کاربری زمین‌ها میان سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۴ نشان دادند به‌عنوان یک ماتریس سردرگمی در جدول ۴ آورده‌شده است. این تغییرات نشان‌دهندهٔ توزیع و تبدیل طبقه کاربری تکی زمین و ماهیت تبدیل آن‌ها بود. بر اساس نتایج جدول ۴، برخی از انتقال‌های عمده کشاورزی به شهر و زمین‌های بایر به شهری، باغ و کشاورزی بود. این روند تبدیل زمین و انتقال اساس مدل‌سازی توان انتقال برای شبیه‌سازی CA-ANN را تشکیل‌داده است. نقشهٔ تغییرات با استفاده از ماتریس انتقال ایجاد شد. نقشهٔ تغییرات ۲۰۲۴-۲۰۰۰ و سنجه‌های مکانی (شیب، جهت و فاصله از جاده‌ها، رود و گسل) به‌عنوان سنجه‌های ورودی برای آموزش مدل ANN در نظر گرفته شد. مدل توان انتقال (ANN) با مقایسه نقشهٔ کاربری طبقه‌بندی‌شده زمین در سال ۲۰۲۴ با نقشهٔ شبیه‌سازی‌شده به‌وسیلهٔ CA-ANN در سال ۲۰۲۴ تأیید شد (عباس و همکاران ۲۰۲۱، یاتو و همکاران ۲۰۲۰). مقایسهٔ نقشه‌ها بر اساس اندازهٔ ضریب کاپا و درصد صحت ارزیابی شد. طبقه‌های کاربری زمین با

1- Anderson’s classification

2- Transition Potential

تطابق کامل با یکدیگر همپوشانی داشتند که بیانگر آن بود که الگوی کاربری زمین به‌درستی شبیه‌سازی‌شده است. درصد صحت شبیه‌سازی با ضریب‌های کاپا کلی، کاپا هیستوگرام و کاپا مکانی ارزیابی شد که به‌ترتیب ۸۲/۴۳ ٪ و ۰/۷۸، ۰/۹۳ و ۰/۷۶ بودند (عباس و همکاران ۲۰۲۱). بر اساس مدل اعتبارسنجی‌شده، از شبیه‌سازی CA-ANN برای تهیهٔ نقشه‌های پیش‌بینی‌شدهٔ کاربری زمین در سال‌های ۲۰۳۴ و ۲۰۴۴ استفاده شد. نمودار اعتبارسنجی که بیانگر تطابق میان نقاط دادهٔ شبیه‌سازی‌شده و مرجع بود، در شکل ۱۱نشان‌داده شده است.

جدول ۴- ارزیابی دقت نقشه‌های LULC از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴.

Table 4- Accuracy assessment of LULC maps from 2000 to 2024.

LULC	Pastures	Barren lands	Garden	Agriculture	Urban areas
Pastures	0.9414	0.0394	0.0060	0.0077	0.0055
Barren lands	0.0011	0.7440	0.0118	0.2139	0.0292
Garden	0.0089	0.0367	0.7237	0.1831	0.0475
Agriculture	0.0009	0.1050	0.1121	0.7437	0.0383
Urban areas	0.0373	0.0620	0.0214	0.0668	0.8125

نقشه‌های LULC برای سال‌های پیش‌بینی‌شده ۲۰۳۴ - ۲۰۴۴

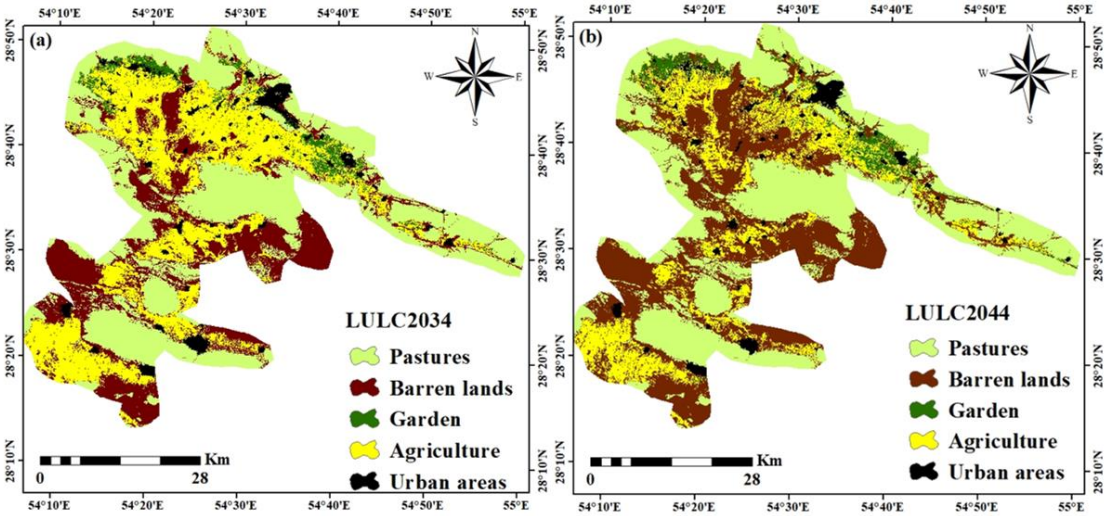
در این پژوهش از شبیه‌سازی CA-ANN برای تهیهٔ نقشه‌های پیش‌بینی شده LULC، برای سال‌های ۲۰۳۴ تا ۲۰۴۴ استفاده شد. پوشش کل مساحت منطقه بر اساس طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش برای سال‌های ۲۰۳۴ و ۲۰۴۴ در داراب در جدول ۵ نشان‌داده شده است. نتایج بیانگر تغییرات ثابت در دورهٔ مطالعه‌شده بود. رشد پیوسته‌ای در الگوی کاربری زمین‌های کشاورزی مشاهده شد. همچنین، با توجه به افزایش نرخ مساحت تحت پوشش کاربری کشاورزی، روند زمین‌های بایر در نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده کاهشی بود. بر اساس جدول ۵، تغییر مراتع در کل مساحت تحت پوشش در طول دورهٔ مطالعه‌شده بسیار جزئی و کاهشی (۰/۲۴- کیلومتر مربع) بود.

در پژوهشی، اندریانی و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات کاربری زمین با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای بررسی کردند و این تغییرات را با مدل زنجیرهٔ مارکوف در آبخیز زیلبیرچای پیش‌بینی کردند و دریافتند که در طول سال‌های آتی مساحت کاربری‌های مسکونی، زراعت آبی و باغ‌ها افزایش خواهد یافت. صالحی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل Markov-CA، نقشهٔ کاربری زمین آبخیز صفارود رامسر را پیش‌بینی کردند. یافته‌های این پژوهش‌ها بیانگر آن است که در سال‌های گذشته در سراسر کرهٔ زمین تغییرات کاربری زمین و پوشش زمین رخ‌داده است که این تغییرات به‌نوبه خود باعث برهم خوردن تعادل بوم‌سازگان، محیط‌زیست و منابع‌طبیعی مناطق گوناگون می‌شود، ازاین‌رو، اهمیت قابل‌توجهی دارد.

جدول ۵- پوشش کل مساحت بر اساس طبقه‌های گوناگون LULC و درصد پوشش آنها در سال‌های ۲۰۴۴ - ۲۰۳۴.

Table 4. Total area coverage based on different LULC classes and coverage percentage for the years 2034 – 2044.

	Area (km^2)			Area (%)		
LULC	2034	2044	Δ	2034	2044	Δ
Pastures	941.22	935.39	-5.83	38.27	38.03	-0.24
Barren lands	876.48	634.93	-241.56	35.63	25.81	-9.82
Garden	101.71	84.59	-17.12	4.14	3.44	-0.70
Agriculture	455.65	708.81	253.16	18.52	28.82	10.29
Urban areas	84.63	95.98	11.35	3.44	3.90	0.46



شکل۵- نقشه‌های پیش‌بینی‌شدهٔ LULC به‌ترتیب برای سال‌های ۲۰۳۴ و ۲۰۴۴.

Figure 5 - Predicted LULC maps for the years 2034 and 2044, respectively.

بر اساس نتایج این پژوهش، در طول دورهٔ مطالعه‌شده، عامل‌های فیزیکی و اجتماعی- اقتصادی تأثیر قابل‌توجهی بر الگوهای منظر داشتند. متغیرهای جغرافیایی موجود در واسنجی مدل به‌دلیل رابطهٔ معنی‌دار آن‌ها با LULC انتخاب شدند. می‌توان گفت که متغیرهای فیزیکی، مانند جغرافیا و آب و هوا، مهم‌ترین عامل در ترویج فعالیت‌های انسانی هستند (وو و همکاران ۲۰۰۶). عامل‌های اجتماعی-اقتصادی، مانند جمعیت و تولید ناخالص داخلی، ممکن است بر تغییر LULC تأثیرگذار باشند (لی و همکاران ۲۰۱۶)، درحالی‌که عامل‌های نزدیکی، مانند دسترسی به بزرگراه‌ها، فاصله از مرکز شهر و فاصله از شبکه جریان، به تعیین نیروهای محرکه کمک می‌کنند (سرنیلز و لامبین ۲۰۰۱). مناطق با بلندی کمتر اغلب با تغییرات سریع LULC همراه بودند. زیرا، جغرافیای این مکان‌ها بیشتر مستعد فعالیت‌های انسانی است. از آنجایی‌که شیب نواحی مرکزی دشت در مقایسه با مناطق دیگر کمتر بود، بیشترین تغییرات در نواحی مرکزی دشت مشاهده شد. مناطق کوهستانی، تپه‌ماهور اطراف دشت، تغییرات کمتری نشان‌دادند. نتایج نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده بیانگر افزایش توسعهٔ کشاورزی و مسکونی همراه با کاهش پوشش مراتع و زمین‌های بایر بود. نقشه‌های شبیه‌سازی‌شدهٔ LULC برای سال‌های ۲۰۳۴ تا ۲۰۴۴ در شکل ۱۰ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج پژوهش‌های پرشماری، عامل‌های محرک شامل گسترش جمعیت، رشد

جمعیت و توسعه اقتصادی هستند (رضا ۲۰۱۶، وو و همکاران ۲۰۲۱). بوم‌سازگان طبیعی، کیفیت آب و تنوع زیستی همگی با رشد منطقه کشاورزی آسیب پذیرند (ستو و همکاران ۲۰۱۲). این یافته با نتایج پژوهش حلی‌ساز و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر کاهش منابع آب دشت کرمان در سال‌های آینده در نتیجه افزایش کاربری کشاورزی، هم‌راستا است. همچنین، با نتایج پژوهش رهنما و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر پیش‌بینی کاهش منابع آبی شهر مشهد در سال ۲۰۳۰، هم‌راستا است. از دیگر یافته‌های این پژوهش می‌توان به افزایش مساحت مناطق مسکونی و انسان‌ساخت در بازهٔ زمانی ۲۰ ساله اشاره کرد که با یافته‌های اولا و همکاران (۲۰۱۹)، حلی‌ساز و همکاران (۲۰۲۰)، کریمیان و همکاران (۲۰۲۰) و زهتابیان و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر افزایش مناطق مسکونی و انسان‌ساخت، مطابقت دارد. نقشه‌های LULC شبیه‌سازی شده دشت داراب برای ۲۰۳۴ و ۲۰۴۴ در شکل ۵ نشان‌داده شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این پژوهش، تغییرات کاربری زمین در منطقهٔ مطالعه‌شده عمدتاً تحت تأثیر رشد جمعیت و تقاضا بود. برای بهبود برنامه‌ریزی منظر و مدیریت پایدار، شناخت گرایش‌های زیان‌بار از سال‌های گذشته ضروری است. افزایش جمعیت و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی و در راستای آن تغییر الگوهای LULC، خود عامل ایجاد آلایندهای شهری، کشاورزی و صنعتی و ورود آن به منابع آب زیرزمینی است که بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی تأثیر منفی داشته و هم‌چنین امنیت غذایی را به خطر می‌اندازد. برای طبقه‌بندی LULC، از ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای مشاهدهٔ دقیق تغییرات پوشش زمین و روند آن استفاده شد. بر اساس نتایج نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، در الگوی کاربری زمین‌های کشاورزی رشد پیوسته‌ای مشاهده شد. در این راستا، درصد تغییرات این زمین‌ها از سال ۲۰۳۴ با مساحت ۴۵۵/۶۵ کیلومترمربع (۱۸/۵۲٪) به مساحت ۷۰۸/۸۱ کیلومترمربع (۲۸/۸۱٪) در سال ۲۰۴۴ افزایش یافت. که دلیل مهم آن می‌تواند احداث سدهای رودبار و خسویه در طول سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ باشد و این موضوع عامل مهمی در افزایش آب قابل‌دسترس کشاورزی و تغذیه آبخوان‌های منطقه است. این یافته نشان‌دهندهٔ افزایش فشار بیشتر بر منابع و عرصه‌های محیط طبیعی و نابودی بیشتر زمین است. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت هرگونه تغییر در کاربری زمین‌ها می‌بایست بر اساس روشنگری‌های منطقی و برنامه‌ریزی‌شده مبتنی بر اصول علمی باشد؛ به‌طوری‌که استفاده از روش‌های به‌روز و کارآمد همچون روش سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی لازم و ضروری است. بر اساس نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده در این پژوهش، روند مساحت تحت پوشش کاربری کشاورزی افزایشی بود و روند مساحت زمین‌های بایر کاهشی بود. همچنین، عامل محرک تغییر کاربری زمین‌ها در داراب وابسته به نرخ سریع افزایش جمعیت، افزایش تقاضا و تبدیل دیگر کاربری‌ها به کشاورزی، باغ و مناطق مسکونی، بود. از سوی‌دیگر، نتایج نشان داد بوم‌سازگان طبیعی این دشت به‌دلیل روند رو به رشد تغییرات و تبادلات کاربری زمین‌ها، با خطر جدی فرسایش و بیابان‌زایی روبه‌رو خواهد بود. این تغییرات ناشی از بهره‌برداری‌های غیراصولی و غیرمنطقی از منابع در نتیجهٔ فعالیت‌های انسانی (شهرنشینی، کشاورزی نامناسب، حفر چاه‌ها و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای کشت باغ‌ها) است.

ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود که نقشه‌های پیش‌بینی‌شده برای آینده از وضعیت کاربری زمین‌ها در این پژوهش، الگویی برای برنامه‌ریزی آمایش سرزمین به‌وسیلهٔ برنامه‌ریزان، مسئولان و متصدیان مربوطه باشد تا به این شیوه، هرگونه تغییر و بهره‌برداری در منطقه بر اساس چهارچوب اصولی و علمی انجام شود تا شاید

بتوان از بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر محیطی (تخلیه منابع آب زیرزمینی، بیابان‌زایی، فرونشست زمین) در دشت داراب در آینده جلوگیری کرد و یا آن را کاهش داد.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است.

مشارکت نویسندگان

فاطمه عابدی: منابع، نرم‌افزار، نگارش و تهیه پیش‌نویس اولیه

عطااله کاویان: ساختاربندی پژوهش، ویرایش مقاله، نظارت

لیلا غلامی: ویرایش مقاله، نظارت

وحید موسوی: مشاوره

فهرست منابع

Andriani S, Nikjo M R, Rezaei Moghadam M H, Mokhtari D. 2017. Analysis of land use changes using object-oriented methods and Markov chain in Zilbirchai watershed located in East and West Azerbaijan. Geography and Development Quarterly. 53(16): 37-50. (In Persian). https://doi.org/10.22111/gdij.2018.4149

Amanpour S, Kamli Far M J, Behmai H. 2016. Analysis of land use changes in metropolitan cities using satellite image analysis (case study: Ahvaz metropolitan area). Sepehr Geographical Information. 26(102): 139-150. (In Persian). https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.27463

Aung T S, Fischer T B, Buchanan J. 2020. Land use and land cover changes along the China-Myanmar Oil and Gas pipelines-monitoring infrastructure development in remote conflict-prone regions. PloS One. 15(8): e0237806. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237806

Abdullah J. 2012. City competitiveness and urban sprawl: Their implications to socio-economic and cultural life in Malaysian cities. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 50: 20-29. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.012

Alexakis DD, Agapiou A, Tzouvaras M, Themistocleous K, Neocleous K, Michaelides S, Hadjimitsis DG. 2014. Integrated use of GIS and remote sensing for monitoring landslides in transportation pavements: the case study of Paphos area in Cyprus. Natural Hazards. 72: 119-141. https://doi.org/10.3390/rs3122605

Akinyemi F O. 2017. Land change in the central Albertine rift: Insights from analysis and mapping of land use-land cover change in north-western Rwanda. Applied Geography. 87: 127-138. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.07.016

Al-Najjar H A, Kalantar B, Pradhan B, Saeidi V, Halin A A, Ueda N, Mansor S. 2019. Land cover classification from fused DSM and UAV images using convolutional neural networks. Remote Sensing 11(12): 1461. https://doi.org/10.3390/rs11121461

Abbas Z, Yang G, Zhong Y, Zhao Y. 2021. Spatiotemporal change analysis and future scenario of LULC using the CA-ANN approach: A case study of the greater bay area, china. Land. 10(6):584. https://doi.org/10.3390/land10060584

Congalton R, Green K. 2008. Thematic accuracy. Assess. Accur. Remote Sens. Data Princ. 4: 55- 61. https://doi.org/10.1201/9781420055139

Carranza-García M, García-Gutiérrez J, Riquelme JC. 2019. A framework for evaluating land use and land cover classification using convolutional neural networks. Remote Sensing. 11(3): 274. https://doi.org/10.3390/rs11030274

Cortes C, Vapnik V. 1995. Support-vector networks. Machine learning. 20: 273-297.

Díaz G I, Nahuelhual L, Echeverría C, Marín S. 2011. Drivers of land abandonment in Southern Chile and implications for landscape planning. Landscape and Urban Planning. 99(3-4): 207-217. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.005

Dey NN, Al Rakib A, Al Kafy A, Raikwar V. 2021. Geospatial modelling of changes in land use/land cover dynamics using Multi-layer perception Markov chain model in Rajshahi

City, Bangladesh. Journal of Environmental Challenges. 4: 100148. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100148

El-Gammal EA, Salem SM, El-Gammal AEA. 2010. Change detection studies on the world's biggest artificial lake (Lake Nasser, Egypt). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.13(2):89-99. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.08.001

El-Tantawi A M, Bao A, Chang C, Liu Y. 2019. Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030). Environmental Monitoring and Assessment. 191: 1-18. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7478-0

Fei L, Shuwen Z, Jiuchun Y, Liping C, Haijuan Y, Kun B. 2018. Effects of land use change on ecosystem services value in West Jilin since the reform and opening of China. Ecosystem Services.31:12-20. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.009

Guangjin T, Xinliang X, Xiaojuan L, Lingqiang K. 2016. The Comparison and Modeling of the Driving Factors of Urban Expansion for Thirty-Five Big Cities in the Three Regions in China. Advances in Meteorology. 2016(1): 3109396. https://doi.org/10.1155/2016/3109396

Hassan A a G, Ngah I, Applanaidu S D. 2018. Agricultural transformation in Malaysia: The role of smallholders and area development. Development. 15(2): 1-56.

Guerra F, Puig H, Chaume R. 1998. The forest-savanna dynamics from multi-date Landsat-TM data in Sierra Parima. Venezuela. International Journal of Remote Sensing. 19(11): 2061-2075. https://doi.org/10.1080/014311698214866

Gao J, Liu Y. 2010. Determination of land degradation causes in Tongyu County, Northeast China via land cover change detection. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 12(1): 9-16. https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.08.003

Houghton R A. 1994. The worldwide extent of land-use change. Bio Science. 44: 305–313. https://doi.org/10.2307/1312380

Hyandye C, Mandara C G, Safari J. 2015. GIS and logit regression model applications in land use/land cover change and distribution in Usangu catchment. Am. J. Remote Sens. 3(6): https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20150301.12

Hussain M, Chen D, Cheng A, Wei H, Stanley D. 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 80: 91-106. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006

Halisaz A, Mahmoodabadi S, Mohammadi Kangrani H, Ghalami H. 2019. Prediction of land use changes in Sirjan Plain using Markov-Selvaler chain. Quantitative Geomorphology Research. 9(1): 116-102. (In Persian). https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.109537

Iqbal M F, Khan I A. 2014. Spatiotemporal land use land cover change analysis and erosion risk mapping of Azad Jammu and Kashmir, Pakistan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 17(2): 209-229. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.004

Imani Harsini J, Kabuli M, Faqhi Taherzadeh A, Asadi A. 2013. Investigating the trend of land use-cover changes in Hamedan province in the last three decades using satellite images. Journal of Natural Environment, Natural Resources of Iran. 67(1):1-12. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jne.2014.50995

Jiang XianDie JX, Lu DengSheng LD, Moran E, Calvi MF, Dutra LV, Li GuiYing LG. 2018. Examining impacts of the Belo Monte hydroelectric dam construction on land-cover changes using multitemporal Landsat imagery. 97:35-47. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.05.019

Karimian K, Amini A, Bagheri Badaghabadi M, Ghayoumi Mohammadi H. 2019. Monitoring land use changes using Landsat satellite images (Case study: Khanmirza Plain). Human Geography Research. 52(2): 419-436. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jhgr.2018.258473.1007708

Kavian A, Zargush Z, Jafarian Jolodar Z, Darabi H. 2016. Modeling land use changes in Haraz watershed using logistic regression and Markov chain. Natural Environment (Natural Resources of Iran). 70(2): 397-412. (In Persian).

Kavian A, Hoseinpoor Sabet S, Solaimani K, Jafari B. 2017. Simulating the effects of land use changes on soil erosion using RUSLE model. Geocarto International. 32(1): 97-111. https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1130083

Kavian A, Golshan M, Abdollahi Z. 2017. Flow discharge simulation based on land use change predictions. Environmental Earth Sciences. 76: 1-17. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6906-0

Kavian A, Javidan N, Bahrehmand A, Gyasi-Agyei Y, Hazbavi Z, Rodrigo-Comino J. 2020. Assessing the hydrological effects of land-use changes on a catchment using the Markov chain and WetSpa models. Hydrological Sciences Journal. 65(15):2604-2615. https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1797046

Lipczynska-Kochany E. 2018. Effect of climate change on humic substances and associated impacts on the quality of surface water and groundwater: A review. Science of the Total Environment.640:1548-1565. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.376

Lamchin M, Lee W K, Jeon S W, Wang S W, Lim C H, Song C, Sung M. 2018. Long-term trend and correlation between vegetation greenness and climate variables in Asia based on satellite data. Science of the Total Environment. 618:1089-1095. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.145

Laliberte A S, Rango A, Havstad K M, Paris J F, Beck R F, McNeely R, Gonzalez A L. 2004. Object-oriented image analysis for mapping shrub encroachment from 1937 to 2003 in southern New Mexico. Remote sensing of Environment. 93(1-2): 198-210.

Li X, Wang Y, Li J, Lei B. 2016. Physical and socioeconomic driving forces of land-use and land-cover changes: A case study of Wuhan City, China. Discrete Dynamics in Nature and Society. 2016(1): 8061069. https://doi.org/10.1155/2016/8061069

Mohammadi A, Shahabi H, Bin Ahmad B. 2019. Land-Cover Change Detection in a Part of Cameron Highlands, Malaysia Using ETM+ Satellite Imagery and Support Vector Machine (SVM) Algorithm. EnvironmentAsia. 12(2). https://doi.org/10.14456/ea.2019.36

Ma L, Li M, Ma X, Cheng L, Du P, Liu Y. 2017. A review of supervised object-based land-cover image classification. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 130: 277-293. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001

M'Barek SA, Bouslihim Y, Rochdi A, Miftah A, Beroho M. 2024. The combined impact of climate change scenarios and land use changes on water resources in a semi-arid watershed. Scientific African. e02319. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02319

Memarian H, Balasundram SK, Talib JB, Sung CTB, Sood AM, Abbaspour K. 2012. Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia. https://doi.org/10.4236/jgis.2012.46059

Mohammadi H, Karmi M, Hassanzadeh Kayani B, Manouri S M. 2013. Investigating the habitat changes of the Iranian yellow deer in the national parks and protected areas of Dez and Karkheh using RS and GIS. Animal Ecology. 6(3): 153-160. magiran.com/p1331720. (In Persian).

Maleki M, Rahmati M, Javan F. 2014. Evaluation of the role of dam construction in agricultural development using remote sensing (Case study: Sedgavshan and Suleiman Shah). National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models (Remote Sensing and GIS) in Land Planning, Yazd. (In Persian). https://civilica.com/doc/365126/

NeddR, Light K, Owens M, James N, Johnson E, Anandhi A. 2021. A synthesis of land use/land cover studies: Definitions, classification systems, meta-studies, challenges and knowledge gaps on a global landscape. Land. 10(9):994. https://doi.org/10.3390/land10090994

Pocewicz A, Nielsen-Pincus M, Goldberg CS, Johnson M H, Morgan P, Force J E, Vierling L. 2008. Predicting land use change: comparison of models based on landowner surveys and historical land cover trends. Landscape Ecology. 23(2):195-210. https://doi.org/10.1007/s10980-007-9159-6

Piquer-Rodríguez M, Kuemmerle T, Alcaraz-Segura D, Zurita-Milla R, Cabello J. 2012. Future land use effects on the connectivity of protected area networks in southeastern Spain. Journal for Nature Conservation. 20(6): 326-336. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.07.001

Richards JA, Jia X. 2006. Image classification methodologies. Remote sensing digital image analysis: An introduction. Remote sensing digital image analysis: An introduction, 295-332.

Rahman MTU, Tabassum F, Rasheduzzaman M, Saba H, Sarkar L, Ferdous J, Zahedul Islam AZM. 2017. Temporal dynamics of land use/land cover change and its prediction using CA-ANN model for southwestern coastal Bangladesh. Environmental Monitoring and Assessment. 189: 1-18. ttps://doi.org/ 10.1007/s10661-017-6272-0

Qadri Sh, Zare Chahoki MA, Azarnivand H, Tavali A, Raigani B. 2019. Prediction of land use changes using Markov-CA model (case study: city: Eshthard). Scientific Journal Marte. 14(1): 147-160. (In ersian). http://rangelandsrm.ir/article-1-873-fa.html

Rahnama MR. 2021. Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030. Sustainable Cities and Society. 64: 102548. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102548

Serneels S, Lambin E F. 2001. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: A spatial statistical model. Agriculture, Ecosystems and Environment. 85(1-3): 65-81. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00188-8

Sajan B, Mishra VN, Kanga S, Meraj G, Singh SK, Kumar P. 2022. Cellular automata-

based artificial neural network model for assessing past, present, and future land use/land cover dynamics. Agronomy. 12(11):2772. https://doi.org/10.3390/agronomy12112772

Salehi N, Ekhsati MR, Talebi A. 2018. Forecasting the trend of land use changes using the Markov chain model Markov-CA (case study: Safaroud Ramsar Watershed). Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources. 1(10): 12-106. (In Persian).

Seto KC, Kaufmann RK. 2003. Modeling the drivers of urban land use change in the Pearl River Delta, China: Integrating remote sensing with socioeconomic data. Land Economics. 79(1): 106-121. https://doi.org/10.2307/3147108

Seto KC, Kaufmann RK. 2005. Using logit models to classify land cover and land-cover change from Landsat Thematic Mapper. International Journal of Remote Sensing. 26(3): 563-577. https://doi.org/10.1080/01431160512331299270

Srivastava P K, Han D, Rico-Ramirez M A, Bray M, Islam T. 2012. Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation. Advances in Space Research 50(9):1250-1265. https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.032

Talukdar S, Singha P, Mahato S, Praveen B, Rahman A. 2020. Dynamics of ecosystem services (ESs) in response to land use land cover (LU/LC) changes in the lower Gangetic plain of India. Ecological Indicators. 112: 106121. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106121

Theobald DM, Hobbs NT. 1998. Forecasting rural land-use change: a comparison of regression-and spatial transition-based models. Geographical and Environmental Modelling. 2: 65-82. https://doi.org/10.1007/s10980-007-9159-6

Ullah S, Ahmad K, Sajjad RU, Abbasi AM, Nazeer A, Tahir AA. 2019. Analysis and simulation of land cover changes and their impacts on land surface temperature in a lower Himalayan region. Journal of Environmental Management.245:348-357. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.063

Vapnik VN, Vapnik V. 1998. Statistical learning theory.

Wu Q, Li HQ, Wang RS, Paulussen J, He Y, Wang M, Wang Z. 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. Landscape and Urban Planning.78(4):322-333. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.10.002

Wu R, Li Z, Wang S. 2021. The varying driving forces of urban land expansion in China: Insights from a spatial-temporal analysis. Science of The Total Environment. 766: 142591. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.004

Wang B, Hu C, Zhang Y. 2024. Multi-scenario simulation of the impact of land use change on the ecosystem service value in the Suzhou-Wuxi-Changzhou Metropolitan Area, China. Chinese Geographical Science. 34(1):79-92. https://doi.org/10.1007/s11769-023-1397-2

Wang Q, Guan Q, Lin J, Luo H, Tan Z, Ma Y. 2021. Simulating land use/land cover change in an arid region with the coupling models. Journal of Ecological Indicators. 122: 107231. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107231

Yiridomoh GY, Appiah DO, Owusu V, Bonye SZ. 2021. Women smallholder farmers off-farm adaptation strategies to climate variability in rural Savannah, Ghana. Geo Journal. 86: 2367-2385. https://doi.org/ 10.22004/ag.econ.277796

Yin J, Yin Z, Zhong H, Xu S, Hu X, Wang J, Wu J. 2011. Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy (1979–2009) in China. Environmental monitoring and assessment.177:609-621. https://doi.org/10.1007/s10661-010-1660-8

Yatoo SA, Sahu P, Kalubarme MH, Kansara BB. 2020. Monitoring land use changes and its future prospects using cellular automata simulation and artificial neural network for Ahmedabad city, India. Geo Journal. 85: 1-22. https://doi.org/10.1007/s10708-020-10274-5

Zhang C, Sargent I, Pan X, Li H, Gardiner A, Hare J, Atkinson PM. 2019. Joint deep learning for land cover and land use classification. Remote Sensing of Environment. 221: 173-187. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.014

Zhou Q, Ou X, Zhang Z, Yang M. 2008. Spatial-temporal land use pattern changes in Manwan hydropower station reservoir of Lancang River, Yunnan, China. Journal of Mountain Science. 26(4):481-489. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.096

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Evaluation and Prediction of Land Cover/Use Changes Using Automatic Cell-Artificial Neural Network (CA-ANN) Model in the Darab Plain of Fars Province

Fatemeh Abedi[1], Ataollah Kavian[2*], Leila Gholami[3], Vahid Mousavi[4]

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

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

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

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

Extended Abstract

Introduction and Goal

The analysis of land use and land cover patterns plays a significant role in resource management and conservation planning, while providing a foundation for systematic approaches to environmental structures. Urban development has notably impacted land use and land cover. As a result, over half of the Earth's surface has undergone changes in recent years, with more than one-third of the land area dedicated to agricultural use. Given these substantial transformations, land use managers and experts have examined the hydrological impacts of land use changes. In this context, machine learning methods such as Artificial Neural Networks (ANN), Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF), Decision Trees (DT), and other models have received considerable attention for land use/land cover (LULC) classification. Planners and managers can utilize predicted LULC changes to promote sustainable land management and reduce adverse consequences. Consequently, detecting and predicting land use changes (LULC) driven by rapid urbanization can lead to disruptions in environmental sustainability. Population growth, economic development, and agricultural expansion are factors contributing to various changes in land covers, including vegetation and water. These persistent land use changes may result in environmental degradation. On the other hand, the intensity of these changes, in response to global population growth and increasing food demands, further emphasizes the need for precise research in this area. Therefore, this study aimed to observe land use changes in 2000, 2014, and 2024 in the Darab region. Additionally, the driving forces behind LULC changes were identified, and the Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN) model was used to analyze predicted land use patterns and trends from 2034 to 2044.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail**: a.kavian@sanru.ac.ir

Citation: Abedi, F., Kavian, A., Gholami, L., Mousavi, V. 2025. Evaluation and Prediction of Land Cover/Use Changes Using Automatic Cell-Artificial Neural Network (CA-ANN) ZModel in the Darab Plain of Fars Province. Watershed Management Research. 38(2): 62-82.

DOI: 10.22092/wmrj.2024.366200.1588

Received: 20 August 2024, **Received in revised form**: 15 September 2024, **Accepted**: 19 September 2024

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 62-82.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)

CC BY

Materials and Methods
Land use classification of satellite images was performed using a pixel-based supervised classification approach in the Google Earth Engine environment. The Support Vector Machine (SVM) model was employed for land use classification. Following the analysis, the study area was categorized into five distinct land use classes: rangelands, barren lands, orchards, agricultural lands, and urban areas. Since modeling land use transitions and predicting future scenarios is essential for spatiotemporal change assessment, the Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN) method was used to forecast land use changes. The MOLUSCE plugin in QGIS was applied to analyze spatiotemporal changes (2034–2044) and compute Land Use/Land Cover (LULC) transitions for generating change maps. A transition potential matrix was also created for the years 2000–2014 to produce a change map. The Multilayer Perceptron Neural Network (ANN-MLP) was utilized for transition potential modeling, with slope, aspect, elevation, and distance from roads, faults, and rivers serving as spatial input metrics. The ANN-MLP structure processed input data through hidden layers, with the output layer containing reclassified LULC categories.

Results and Discussion
The LULC change maps (2000–2024) revealed a significant expansion of agricultural land in the region. Findings indicated that the natural ecosystems of the plain would face serious challenges due to increasing land use transitions. These changes stem from unsustainable exploitation of resources, driven by human activities such as urbanization, improper farming, excessive well-digging, and overuse of groundwater for irrigation, which may lead to soil erosion and desertification. Additionally, agricultural land conversion was accompanied by substantial changes in barren lands. The 2034–2044 prediction maps showed a continuous rise in agricultural land use, increasing from 65.455 km² (18.52%) in 2034 to 81.708 km² (28.81%) in 2044. The simulation accuracy was 82.43%, with a Kappa coefficient of 0.72. The study confirmed that physical and socio-economic factors significantly influenced landscape patterns. Geographical variables were selected for model calibration due to their strong correlation with LULC changes. Physical factors (e.g., terrain, climate) were the primary drivers of human activities, while socio-economic factors (e.g., population growth, GDP) also impacted LULC dynamics.

Conclusion and Suggestions
LULC pattern changes negatively affect groundwater quality and threaten food security. The SVM model proved effective for precise land cover monitoring. The study highlights that any land use modifications must follow scientific, data-driven planning, incorporating remote sensing and GIS technologies to prevent irreversible environmental damage (e.g., groundwater depletion, desertification, land subsidence) in Darab Plain. The projected LULC maps should serve as a guideline for land-use planners and policymakers to regulate agricultural expansion, urbanization, and orchard development. The decline in barren lands in simulated maps reflects rapid population growth, rising demand, and land conversion to farms, orchards, and residential zones as key drivers in Darab.

Keywords: ANN-MLP model, google earth engine, Support Vector Machine (SVM), MOLUSCE plugin, QGIS

Article Type: Research Article

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
Fatemeh Abedi: Resources, Software, Writing – Original Draft
Ataollah Kavian: Research structuring, Manuscript Editing, Supervision
Leila Gholami: Manuscript Editing, Supervision
Vahid Mousavi: Advision

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران

صمد شادفر[1]، مجید صوفی[2]

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

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

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

یکی از انواع فرسایش آبی که باعث ایجاد فرسایش و رسوب در آبخیزها می‌شود و خسارت‌های زیادی به زمین‌های کشاورزی، مرتعی و تأسیسات زیربنایی وارد می‌کند، فرسایش خندقی است. مدیران زمین با شناسایی علت‌های مؤثر بر فرسایش خندقی می‌توانند با در نظر گرفتن و رعایت عامل‌های مؤثر مدیریتی، از گسترش خندق‌ها جلوگیری کنند. این پژوهش با هدف بررسی فرسایش خندقی در استان‌های کشور، شناسایی عامل‌های مؤثر بر گسترش فرسایش خندقی، به‌دست آوردن مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی و برآورد خسارت‌های ناشی از آن، انجام شد. افزون بر این، اندازهٔ گسترش خندق‌ها در قالب عامل‌های گوناگون طبقه‌بندی‌شده بررسی شد و خسارت ناشی از آنها در ایران ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از نتایج طرح‌های پژوهشی که به‌شکل مستقیم و غیر مستقیم، گسترش فرسایش خندقی را بررسی کرده بودند، استفاده شد. ابتدا تعدادی از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی در آبخیزهای کشور، بررسی شد. سپس، کلیه عامل‌های طبقه‌بندی‌شده و رابطهٔ آنها با مناطق تحت تأثیر فرسایش‌خندقی بررسی شد. در این پژوهش، با استفاده از روش دومارتن گسترده، اقلیم مناطق خندقی طبقه‌بندی شد و رابطهٔ میان اقلیم‌های گوناگون و فراوانی خندق‌ها بررسی و محاسبه شد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی:** samad.shadfar@gmail.com

استناد: شادفر، ص.، صوفی، م. ۱۴۰۴. علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۲): ۹۷-۸۳.

شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.367344.1597

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۸/۲۶، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۹، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۸۳ تا ۹۷.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

© نویسندگان

CC BY

کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی مقایسه شد و بافت خاک و دامنهٔ تغییرات ذرات خاک، تغییرات شوری خاک، تغییرات مواد آلی، تغییرات نسبت جذبی سدیم (SAR) در مناطق خندقی، شیب، جاده‌سازی و شخم در جهت شیب به‌عنوان برخی از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در گسترش فرسایش‌خندقی بررسی شدند. سرانجام، اندازهٔ مساحت فرسایش خندقی رخ‌داده همراه نوع و اندازهٔ خسارت بر اساس قیمت روز برای استان‌ها برآورد شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی رابطهٔ میان اقلیم‌های گوناگون و فراوانی خندق‌ها نشان داد که ۳۲٪ خندق‌ها در اقلیم نیمه‌خشک، ۱۷٪ در اقلیم خشک، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی گرم، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی معتدل، ۹٪ در اقلیم مدیترانه‌ای، ۵٪ در اقلیم نیمه‌مرطوب، ۴٪ در هر کدام از اقلیم‌های مرطوب و خشک بیابانی سرد و ۱٪ در اقلیم خیلی‌مرطوب، رخ داده‌اند. مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی نشان داد که ۵۵٪ از خندق‌ها در اثر تغییر کاربری مرتع به زراعت دیم رخ داده‌اند. بافت‌های سیلت‌لوم، لوم و لوم‌شنی به‌ترتیب با ۲۶، ۲۳ و ۲۰٪ فراوانی به‌عنوان بافت غالب خاک در خندق‌ها شناسایی شد و ۱۴٪ از مناطق بررسی‌شده از نظر شوری محدودیت خیلی‌شدید داشتند. اندازهٔ مادهٔ آلی در مناطق پژوهش‌شده از ۰/۰۲ تا ۲/۹ ٪ متغیر بود. مادهٔ آلی ۹۴٪ از مناطق خندقی کمتر از ۲٪ بود و مادهٔ آلی حدود ۶٪ از مناطق نیز از ۲ تا ۲/۹٪ متغیر بود. نتایج بررسی نسبت جذبی سدیم نشان داد که نسبت جذبی سدیم ۲۴٪ از مناطق خندقی بیشتر از ۱۵ بود. شیب ۷۰٪ از مناطق خندقی کمتر از ۱۲٪ بود و ۱۶٪ از مناطق خندقی در طبقهٔ شیب ۱۲ تا ۲۵٪ و ۱۴٪ از مناطق خندقی نیز در شیب بیشتر از ۲۵٪ بودند. در ۳۸٪ از مناطق خندقی جاده‌سازی و در ۲۷٪ از آن شخم در جهت شیب به‌عنوان عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شدند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین فراوانی خندق‌ها در اقلیم نیمه‌خشک، زراعت دیم، مربوط به خاک‌هایی با بافت سیلت لوم بود. همچنین، خندق‌ها در مناطقی که محدودیت خیلی شدید از دیدگاه شوری، ماده آلی بسیار کم، نسبت جذبی سدیم زیاد بود، گسترش یافته‌اند. در مناطقی نیز جاده‌سازی و شخم در جهت شیب به‌عنوان عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شد. بر اساس نتایج این پژوهش خسارت ناشی از گسترش خندق‌های ایران حدود ۷۰۰ میلیارد تومان محاسبه شد. همچنین، به‌دلیل آغاز یک دورهٔ خشک‌سالی درازمدت، پیشنهاد می‌شود از طرح‌های حفاظتی (زیستی) و در برخی شرایط تلفیقی (زیستی و سازه‌ای) برای کاهش گسترش خندق‌های ایران استفاده شود. در مناطقی که عملیات نادرست کشاورزی موجب گسترش خندق‌ها شده است، به کشاورزان، به‌ویژه در زمینهٔ شخم صحیح آموزش داده شود. همچنین، در مناطق مطالعه‌شده تغییر کاربری زمین مهم‌ترین عامل انسانی مؤثر در رخداد فرسایش خندقی شناخته شد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود از تغییرات کاربری زمین اجتناب شود.

واژگان کلیدی

اقلیم، تغییر کاربری زمین، خسارت، شخم در جهت شیب، فرسایش‌خندقی، مادهٔ آلی

مقدمه

بررسی علت‌های گسترش فرسایش خندقی در کشورهای گوناگون دنیا از جمله ایران بیانگر آن است که علت‌های کلی شامل تغییرات یا نوسان‌های اقلیمی، دخالت انسان و تغییرات درون آبخیزی است. با وجود بررسی‌های فراوان درباره علت‌های گسترش فرسایش خندقی به‌دلیل پیچیدگی‌ها و اثرات اندرکنش عامل‌های گوناگون، هنوز مجادله زیادی میان متخصصان وجود دارد. بیش از یک میلیون هکتار از زمین‌های مرتعی و دیم در استان‌های گوناگون ایران دچار فرسایش خندقی شده‌اند که دامنهٔ ژرفای آنها ۸-۰/۵ متر است (صوفی ۲۰۰۹). این موضوع بیانگر آن است که سطح گسترده‌ای از زمین‌های تولیدکنندهٔ

علوفه و غذا از دسترس کشاورزی خارج شده‌اند. از سوی دیگر، این نوع فرسایش به‌دلیل تأثیرگذار بودن بر رواناب سطحی و زیرزمینی، اهمیت بیشتری دارد. دلیل اول اینکه خندق‌ها با انحراف رواناب سطحی به سمت پیشانی خود سبب تمرکز سیلاب در درون خود می‌شوند و به این ترتیب سیلاب سریع از دسترس زمین‌های اطراف خندق‌ها خارج می‌شود. دلیل دوم این است که خندق‌ها با افزایش ژرفای فرسایش کانال خود سبب افزایش سرعت تخلیه آب زیرزمینی شده و به این ترتیب زمین‌های اطراف آنها سریع خشک می‌شود. در چنین شرایطی اثرات تغییر اقلیم نیز چند برابر خواهد شد. دلیل سوم اینکه فرسایش خندقی با تولید رسوب فراوان سبب مشکلات زیادی در پائین‌دست خود مانند منابع آبی خواهد شد (شادفر ۲۰۱۵). در سه دهه گذشته در ایران، به‌شکل پراکنده و محدود پژوهش‌هایی درباره انواع گوناگون فرسایش خاک از جمله فرسایش خندقی انجام‌شده است (ثروتی و همکاران ۲۰۰۸). در شهرستان بندر لنگه آبخیز گزیر، پرورش (۱۹۹۲) گزارش کرد که خندق‌ها در اثر نابودی پوشش گیاهی مراتع مشجر با گونه درختی گز و تاغ و تبدیل به زمین‌های زراعی و ترک روش‌های سنتی و مهار رواناب سطحی به‌وسیلهٔ آب انبار و یا متروکه شدن آب انبارهای قدیمی روی شیب ۲-۰٪ و رسوبات ژرف دریائی و یا مارن ایجاد شده‌اند. در آبخیز سوق در شهرستان دهدشت، شهریور (۱۹۹۷) عامل‌هایی مانند نوع سازند، اندازهٔ رس، اندازهٔ ماسه و سیلت، تراکم پوشش گیاهی، املاح محلول موجود در خاک، مساحت آبخیز خندق، شیب کف خندق و شیب آبخیز خندق را بررسی کرد و دریافت که دو عامل مساحت آبخیز در بالادست خندق (عامل پستی‌بلندی) و درصد املاح محلول در خاک (عامل خاک یا سنگ بستر) بیشترین تأثیر را در گسترش فرسایش خندقی دارند. در بندر گناوه، راهی (۱۹۹۸) عامل‌هایی چون سازندهای حساس زمین‌شناسی، نفوذپذیری کم، فقر پوشش گیاهی، شدت زیاد بارندگی‌ها، تعداد دام مازاد در مرتع را از جمله علت‌های گسترش فرسایش خندقی گزارش کرد. همچنین، صوفی (۲۰۰۳) عامل‌هایی مانند نابودی پوشش گیاهی، کاربری نامناسب زمین و ساخت جاده و آبیاری غیر اصولی در استان فارس را از جمله علت‌های گسترش فرسایش خندقی معرفی کرد. زارع‌مهرجردی و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که عامل اصلی گسترش خندق در استان هرمزگان شدت زیاد بارندگی، نوع خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی و به‌دنبال آن انجام کشاورزی نادرست و نبودن مدیریت صحیح سیلاب بود. در یکی از زیرآبخیزهای زنجان‌رود، مرتضایی (۲۰۰۵) گزارش کرد که شیب بالادست خندق (عامل پستی‌بلندی)، اندازهٔ املاح موجود در سازند، افزایش بارندگی بیش از ۱۳ میلی‌متر در ۲۴ ساعت (عامل اقلیم) و قابلیت انحلال‌پذیری سازند (سنگ بستر) در گسترش و گسترش خندق مؤثرند. صوفی و چرخابی (۲۰۰۵) علت‌های گسترش خندق را در شهرستان لامرد فارس، خاکبرداری، تردد وسائط نقلیه موتوری، نابودی پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی، شخم با ادوات سنتی و در معرض رواناب سطحی بودن لایهٔ زیرین خاک با مواد آلی بسیار ناچیز (میانگین ۰/۵٪) و با سیلت فراوان، ایجاد شخم در جهت شیب در زمین‌های زراعی، ساخت پل‌های جدید، گزارش کردند. حیدری و همکاران (۲۰۰۶) سازوکارهای گسترش فرسایش خندقی در استان کرمان را بررسی کردند و دریافتند که عامل‌هایی مانند درصد رس (بستر)، سطح آبخیز خندق (پستی‌بلندی) و میانگین عرض خندق (شکل‌شناسی خندق) در حجم گسترش خندق تأثیرگذار بودند و عامل‌هایی مانند عرض خندق، مجموع بارش سالانه (اقلیم)، درصد سیلت و رس خاک در گسترش طولی خندق‌های منطقه بیشترین تأثیر را داشتند. شادفر و همکاران (۲۰۰۷) برخی از عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی در آبخیز قشلاق البرز را بررسی کردند و دریافتند که ۶۳٪ از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی، در واحدهای سنگ‌شناسی متشکل از رس و سیلت بودند و ۳۷٪ در مناطق آبرفتی بودند. همچنین، ۹۸٪ از خندق‌ها در طبقه شیب ۵-۰٪ و در دشت‌های دامنه‌ای و سیلابی (به‌ترتیب ۴۳ و ۴۹٪)، کاربری کشاورزی و مراتع فقیر

رخ داده‌اند. همچنین، افزایش تهاجم فرسایش خندقی در این آبخیز سبب هدر رفتن زمین‌های قابل کشت شده است. در این راستا، سه عامل مدیریت کاربری انسان، پستی‌بلندی و سنگ بستر بیشترین تأثیر را داشتند. شادفر و صبحزاهدی (۲۰۰۷) علت‌های گسترش فرسایش خندقی در آبخیز علی‌آباد استان گیلان را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که واحدهای سنگ‌شناسی Ng2 و Qf1، ۱۰۰٪ و تیپ زمین‌های تپه ماهور ۵۷٪ از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی را شامل می‌شوند. همچنین، بیشترین گسترش فرسایش خندقی در آبخیز مطالعه‌شده در مناطقی با طبقهٔ شیب ۲۰-۵٪ (۹۲٪)، جهت شیب جنوبی (۸۲٪) و کاربری مرتع فقیر (۱۰۰٪) مشاهده شد. شادفر (۲۰۱۰) از جمله عامل‌های تأثیرگذار در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی را حساسیت سازند، شیب، بارش، جهت دامنه‌ها، چرای بیش از حد دام، نوع خاک، جاده‌سازی، شخم در جهت شیب، تراکم و پوشش گیاهی و کاربری زمین معرفی کرد. نکوئی‌مهر و همکاران (۲۰۱۱) در استان چهارمحال و بختیاری گزارش کردند که نابودی پوشش گیاهی، تغییر کاربری زمین (دخالت‌های انسان به‌شکل‌های گوناگون)، سیل (اقلیم)، شیب‌زمین (پستی‌بلندی)، فرسایش‌پذیری خاک، حساس بودن سازند، جاده‌سازی و ساخت پل که سبب تمرکز جریان آب در پایین‌دست می‌شود از مهم‌ترین عامل‌های گسترش فرسایش خندقی در استان به‌شمار می‌آید. علیرضایی و همکاران (۲۰۱۱) در استان همدان علت‌های فرسایش‌خندقی را چرای بیش از حد، تبدیل مراتع به دیم در شیب‌های زیاد، ایجاد شخم در جهت شیب (دخالت انسان)، وجود سیلت فراوان، کم بودن مواد آلی، ساختمان تک دانه‌ای، تکامل نیافتن ساختمان خاک (سنگ بستر)، شیب (پستی‌بلندی)، جنس تشکیلات زمین‌شناسی، بهره‌برداری غیر مجاز و بیش از حد از معادن سنگ سیلیس و ساخت جاده‌های غیر اصولی (دخالت نامناسب انسان) گزارش کردند. نتایج پژوهش اعظمی و همکاران (۲۰۱۲) بیانگر آن بود که بیشترین خسارت‌های خندق شامل نابودی زمین‌های مرتعی، کشاورزی، نابودی منازل و ابنیه‌ها است. این پژوهشگران فرسایش‌پذیری خاک، نابودی پوشش گیاهی، شدت بارندگی و ضریب هرزآب زیاد در لایه‌های سنگی آغاجاری، رواناب سطحی، شیب زیاد، چرای بیش از حد دام، تبدیل زمین‌های مرتعی و شیب‌دار به زمین‌های زراعی دیم و اقدام‌های نادرست کشاورزی در استان ایلام را از علت‌های گسترش فرسایش خندقی گزارش کردند.

ویسی‌سرطایره و اسفندیاری‌درآبادی (۲۰۱۵)، در پژوهشی نقش شیب در شکل‌گیری و گسترش فرسایش‌خندقی در شهرستان ثلاث باباجانی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در این منطقه تابعی از عامل‌های گوناگون شامل میانگین بلندی بارندگی، روش استفاده از زمین، نوع و پوشش گیاهی، شیب و جهت زمین است. از آنجایی که در این مطالعه بیشتر خندق‌ها روی شیب بودند، این پژوهشگران عامل شیب را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری و گسترش فرسایش‌خندقی معرفی کردند و اصلاح کاربری زمین و مدیریت پوشش گیاهی و جلوگیری از قطع درختان را به‌عنوان راهکارهای مهار این نوع فرساش، توصیه کردند. شادفر (۲۰۱۵) در بررسی و ارزیابی عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی دریافت که بیش‌ترین گسترش فرسایش خندقی در مناطقی با اقلیم نیمه‌خشک که خاک‌هایی با بافت سیلت‌لوم و مادهٔ آلی کمتر از ۲٪، شیب کمتر از ۱۲٪ داشتند، بود. نتایج پژوهش شیرانی (۲۰۱۹) در جنوب استان اصفهان نشان داد که شاخص‌های قدرت فرسایندگی جریان آب، بافت خاک و سنگ‌شناسی بر پهنه‌های حساس به فرسایش خندقی بیشترین تأثیر را داشتند. شیرانی (۲۰۲۱) تأثیرگذارترین سنجه‌ها در رخداد خندق در آبخیز سمیرم در جنوب استان اصفهان را کاربری زمین، شیب و فاصله از آبراهه معرفی کرد. شیرانی (۲۰۲۴) در بررسی آبخیزهای سمیرم، مارون، سمنان، ایلام، سراب‌هلیل و بازفت دریافت که عامل‌های کاربری زمین، سنگ‌شناسی، بارش، نوع

خاک، بلندی، درجه شیب و سطح زهکشی آبخیز به‌ترتیب در رخداد فرسایش خندقی بیشترین تأثیر را داشتند. عسکری و شیرانی (۲۰۲۴) در آبخیز ایلام دریافت که متغیرهای کاربری زمین، تراکم آبراهه، سنگ‌شناسی، اقلیم، بارش، پوشش گیاهی و بلندی، به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در گسترش فرسایش خندقی داشتند. در پژوهش بیلی و همکاران (۱۹۸۶) مشخص شد که پیشرفت فرسایش تونلی منجر به شکل‌گیری ناگهانی خندق‌ها شد و عامل اصلی آن وجود املاح محلول در خاک، حرکت آب در تودهٔ خاک در اثر تجمع در گودال‌های کوچک در سطح خاک و اشباع شدن خاک، بود. پوزن وگاورز (۱۹۹۰) فرسایش خندقی را در خاک‌های لومی بلژیک بررسی کردند و گزارش کردند که همه خندق‌ها در خاک‌هایی با بافت لوم‌سیلتی تشکیل شده‌اند. ویجدنس و برایان (۱۹۹۱) دریافتند که رشد خندق‌ها در سال بیش از ۱۰ متر بود و همبستگی زیادی میان توزیع بارندگی و نابودی پوشش گیاهی وجود داشت. همچنین، خندق‌ها در زمین‌های مسطح با پوشش علفی و خاک بدون ساختمان به‌شدت گسترش یافته‌اند.

عامل اصلی افزایش خطر ایجاد خندق روی شیب‌های شدید در بوم‌نظام‌های گوناگون در مرکز بلژیک (ناشترگیل ۲۰۰۱) افزایش سطح زیر کشت ذرت و اثرات جاده‌سازی (کروک و موکلر ۲۰۰۱؛ مونت گومری ۱۹۹۴؛ ومپل و همکاران ۱۹۹۶) گزارش‌شده است. کوکال و ماتارو (۲۰۰۲) گزارش کرد که با افزایش شیب نسبت میانگین طول خندق‌ها افزایش می‌یابد. همچنین، هر چه اندازهٔ ماده آلی کاهش یابد، اندازهٔ فرسایش خندقی افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر، سنجه‌هایی مانند شیب، مساحت آبخیز، عامل شکل، فرسایش‌پذیری سطحی و زیرسطحی خاک، میانگین بارندگی و وضعیت پایداری خاک با گسترش خندق رابطه مستقیم دارند. افزون بر این، این پژوهشگران گزارش کردند که تشکیل بیشتر خندق‌ها به‌دلیل پیدایش کافی رواناب و انرژی بود و این موضوع به درجه شیب بستگی دارد و تأکید کردند که عامل شیب و مساحت آبخیز مهم‌ترین عامل در گسترش فرسایش خندقی در مناطق مطالعه‌شده بود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) گسترش خندق‌های کوچک و موقتی را در زمین‌های کشاورزی در منطقه‌ای در شمال‌شرق چین ارزیابی کردند. این پژوهشگران اندازه‌گیری‌های لازم در این پژوهش را در دو دورهٔ اواخر بهار و تابستان که دوره‌های بحرانی تشکیل این خندق‌ها بود، انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزون بر خصوصیات خاک و بارش، نوع عملیات کشاورزی نیز در گسترش خندق‌ها مؤثر بود که این موضوع بیانگر اثرات بیشتر مدیریت انسان بر اقلیم و بستر برای گسترش خندق‌ها بود. منندز دوآرتی و همکاران (۲۰۰۷) رابطهٔ میان عامل‌های پستی‌بلندی و نوع لایهٔ سنگ‌شناسی را با گسترش فرسایش‌خندقی در مراتع شیب‌دار شمال اسپانیا بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که: ۱- رابطهٔ میان ریخت‌سنجی کانال، پستی‌بلندی و شدت فرسایش معنی‌دار بود. ۲- خندقی شدن به‌شدت تحت تأثیر وجود لایه رگولیت در ژرفای خاک بود. ۳- گسترش خندق بستگی به فرایندهای لغزش دارد که این فرایندها نیز تحت تأثیر وجود آب در منافذ لایه رگولیت بود. این نتایج بیانگر اثرات شدید شیب و پستی‌بلندی در افزایش گسترش خندق‌های شمال اسپانیا بود. نتایج پژوهش میانگ‌نر و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که بیشتر خندق‌های موقت ایجادشده در زمین‌های زراعی آمریکا به‌دلیل عملیات شخم که نتیجه مدیریت انسان بوده است، مشاهده شد. آچتن و همکاران (۲۰۰۸) رخداد فرسایش خندقی را در منطقه‌ای با مساحت ۱۳۰۰۰ کیلومترمربع در جنوب‌شرق تانزانیا بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که ساخت جاده‌ها که نتیجه دخالت انسان است، مهم‌ترین عامل ایجاد خندق در منطقه نامبرده بود. گومز گوتیرز و همکاران (۲۰۰۹) گسترش فرسایش خندقی را در یک دورهٔ ۶۰ ساله در یک آبخیز مرتعی کوچک در جنوب اسپانیا بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازهٔ فرسایش خندقی رابطهٔ مستقیمی با تغییرات کاربری زمین به‌ویژه وسعت زمین‌های کشاورزی و شدت چرا داشت. این یافته بیانگر آن بود که اثرات دخالت و

مدیریت انسان در مقایسه با دیگر عامل‌ها در گسترش خندق بیشتر بود. در پژوهشی، نوان کوالا و نوان‌کو (۲۰۱۸) وضعیت فرسایش‌خندقی در ایالت آبیا نیجریه را بررسی کردند. ایشان علت‌های اصلی ایجاد فرسایش خندقی در منطقهٔ نامبرده را وجود معدن شن، فعالیت‌های نادرست کشاورزی، سامانه‌های ضعیف و نامناسب زهکشی، جاده‌سازی و ساخت و سازهای غیر اصولی گزارش کردند. در استان ایلام، شیرانی و همکاران (۲۰۲۳) عامل‌های مانند نوع خاک، سنگ‌شناسی، شیب، بلندی و میانگین بارش را در رخداد فرسایش خندقی مؤثر دانسته‌اند.

نتایج پژوهش‌های گوناگون بیانگر آن است که افزون بر عامل‌های طبیعی مانند اقلیم، ویژگی‌های خاکشناسی و غیره نیز در گسترش فرسایش خندقی تأثیرگذار بوده‌اند و دخالت انسان به‌شکل‌های گوناگون در آبخیزهای ایران سبب نابودی مراتع به‌دلیل چرای بیش از حد، خشک‌سالی و تردد دام‌ها در فصل‌های مرطوب، تبدیل مراتع به زراعت دیم یا آبی، راه‌سازی و جایگذاری نامناسب آبگذرهای جاده‌ای، شخم دیم‌زارها در جهت شیب و بدون پوشش بودن آنها در فصل بارش و استفاده نکردن از خاکورزی حفاظتی بوده است. زیرا مدارک تاریخی نشان داد که در چند دههٔ گذشته که توسعهٔ فعالیت‌های عمرانی و کشاورزی در ایران کمتر بوده است، این پدیده در بسیاری از آبخیزهای ایران گسترش زیادی نداشته است. به بیان دیگر می‌توان گفت با کاهش پوشش گیاهی بر سطح مراتع و تبدیل آنها به دیم و ارائه طرح‌های توسعه فعالیت‌های عمرانی در ۵ دههٔ گذشته، سبب افزایش گسترش فرسایش خندقی شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران از نتایج بررسی‌های انجام‌شده، بازدیدهای میدانی، مدارک تاریخی (عکس‌های هوائی و تصویرهای ماهواره‌ای) و روایتی (مصاحبه با افراد آگاه و ساکن در آبخیزها با فرسایش خندقی) استفاده شد. همچنین، تعدادی از مهم‌ترین عامل‌های بررسی‌شده در این پژوهش به شرح زیر است:

اقلیم

طبقه‌بندی اقلیم مناطق خندقی با استفاده از روش دومارتن گسترده انجام شد. سپس، اندازهٔ خندق‌های رخ داده در هر یک از طبقه‌های اقلیمی بررسی شد.

کاربری زمین‌ها

تغییرات کاربری زمین به‌عنوان یک عامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی بررسی شد. برای مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی، تغییرات تبدیل مرتع به زراعت دیم، تبدیل مرتع به زمین‌های رهاشده و بایر، تبدیل جنگل به مرتع و زراعت دیم، تبدیل جنگل به زراعت دیم، تبدیل مرتع به زراعت آبی، تبدیل زراعت به مرتع و باغ، تبدیل زراعت آبی به زمین‌های رهاشده و تبدیل مرتع به جاده بررسی شد.

بافت خاک

در این پژوهش بافت خاک و دامنهٔ تغییرات ذرات خاک شامل رس، سیلت و شن بررسی شد.

بررسی تغییرات EC

تغییرات EC خاک از عامل‌های مهم و اثرگذار بر اندازهٔ گسترش خندق‌ها است. برای مقایسهٔ رابطهٔ میان اندازهٔ هدایت الکتریکی و طبقهٔ خاک از دیدگاه شوری از طبقه‌بندی مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- طبقه‌بندی اندازهٔ محدودیت شوری خاک با استفاده از هدایت الکتریکی.

Table 1- Classification of soil salinity limitation using electrical conductivity.

Electrical conduction(ds/m)	The amount of salt restriction
4<	No restriction
4-8	Low restriction
8-16	Medium restriction
16-32	Severe restriction
> 32	Very Severe restriction

تغییرات مواد آلی

کمبود مواد آلی یکی از عامل‌های نشان‌دهندهٔ اندازهٔ حساسیت مناطق نسبت به فرسایش خندقی است. آستانه مادهٔ آلی برای جدایش خاک‌های فرسایش‌پذیر ۳/۵٪ است و مناطقی که کمتر از ۳/۵٪ مادهٔ آلی داشته باشند، جزء خاک‌های فرسایش‌پذیر به‌شمار می‌آیند، چونکه این اندازه از مادهٔ آلی برای ایجاد مقاومت در برابر فرسایش آبی کافی نیست (مورگان و منگومزولو ۲۰۰۳).

در این پژوهش، برای بررسی درصد مادهٔ آلی، ابتدا خندق‌ها از دیدگاه اندازهٔ مادهٔ آلی در گروه‌های کمتر از ۰/۵، ۰/۵-۱، ۱-۱/۵، ۱/۲-۵ و بیشتر از ۲٪ طبقه‌بندی شدند. سپس، اندازهٔ خندق‌های ایجادشده در هر یک از طبقه‌ها بررسی شد.

تغییرات نسبت جذبی سدیم (SAR) در مناطق خندقی

خندق‌ها از دیدگاه اندازهٔ نسبت جذبی سدیم در گروه‌های کمتر از ۵، ۱۰-۵، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰ و بیشتر از ۲۰ طبقه‌بندی شدند. سپس، اندازهٔ خندق‌های ایجادشده در هر یک از طبقه‌ها بررسی شد.

شیب

اثرات شیب آبخیز بر جریان سطحی محسوس و قابل توجه است. اثرات شیب روی اندازهٔ رواناب، ظرفیت نگهداری آب و خاک، فرصت نفوذ آب در خاک و اندازهٔ نفوذ آب در آن است. برای بررسی رابطهٔ میان فرسایش خندقی و شیب از طبقه‌بندی مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب استفاده شد (جدول ۲). سپس، اندازهٔ خندق‌های ایجادشده در هر یک از طبقه‌ها بررسی شد.

جدول ۲- طبقه‌بندی شیب بر اساس روش مؤسسهٔ خاک و آب.

Table 2- Slope classification based on Soil and Water Institute method.

Slope condition	Slope Percent	Sign
Flat	0-2	A
Gentle slope	2-5	B
Sloping ground	5-8	C
Very steep	8-12	D
Relatively steep slope	12-25	E
Steep slope	25-40	F
Very steep slope	40-70	G
Extremely steep slope	70<	H

عامل‌های دیگری مانند جاده‌سازی که اغلب موجب تمرکز هرزآب‌های بالادست در آبراهه‌های زیر جاده‌ها و ایجاد خندق در پایین‌دست جاده می‌شود و همچنین، شخم در زمین‌های شیب‌دار که همه ساله باعث فرسایش و کاهش اندازهٔ درصد حاصلخیزی خاک و در نتیجه کاهش اندازهٔ محصول می‌شود و بلندی نیز به‌عنوان عامل‌های مؤثر در گسترش فرسایش خندقی بررسی شدند.

طول خندق‌ها

در این پژوهش بر اساس روش احمدی (۱۹۹۹) خندق‌ها از دیدگاه طول در ۳ گروه، خندق‌های کوچک (کمتر از ۱۲۰ متر طول)، خندق‌های متوسط (۱۲۰-۲۴۰ متر طول) و خندق‌های بزرگ (بیش از ۲۴۰ متر طول) طبقه‌بندی شدند.

طبقه‌بندی خندق‌ها بر اساس شکل مقطع عرضی

در این پژوهش، از روش فائو برای طبقه‌بندی خندق‌ها بر اساس شکل مقطع عرضی آنها استفاده شد و به سه گروه V، U و ذوزنقه‌ای شکل طبقه‌بندی شدند.

خسارت‌های ناشی از فرسایش خندقی

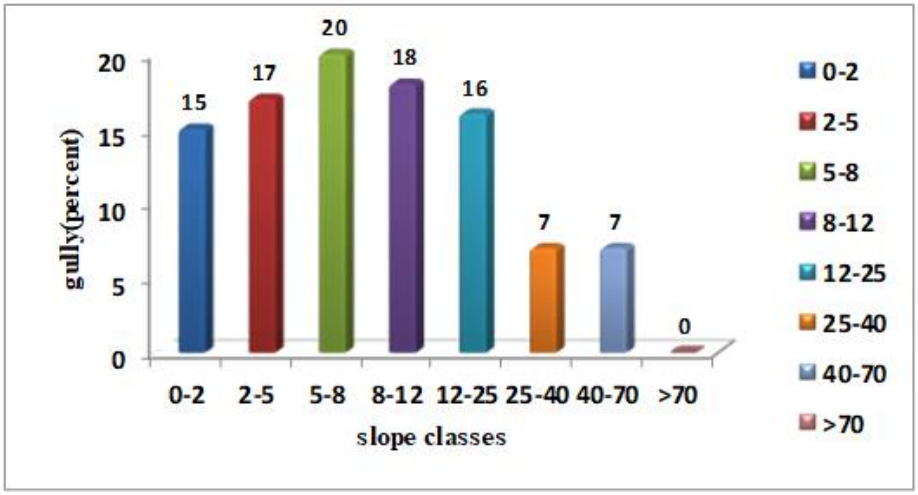
در این پژوهش، ابتدا مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در ۲۱ استان کشور محاسبه شد. سپس، نوع خسارت وارده به راه‌ها، زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها، مراتع، باغ‌ها، قنات‌ها، صنایع، منازل مسکونی و دیگر کاربری‌ها تعیین شد. سرانجام برآورد تقریبی خسارت ناشی از فرسایش خندقی در

مناطق معرف هر استان با توجه به نوع خسارت در گزارش‌های بررسی‌شده تعیین شد و ارزش ریالی انواع خسارت‌های وارده برآورد شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی‌های پرشمار متخصصان ایرانی نشان داد که مساحت گسترش خندق‌های ایران بیش از یک میلیون و چهارصد هزار هکتار در اکثر اقلیم‌ها بود. اما، خندق‌ها در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک گسترش بیشتری داشته‌اند. نتایج بررسی رابطهٔ میان اقلیم‌های گوناگون و فراوانی خندق‌ها در این پژوهش نشان داد ٪۳۲ خندق‌ها در اقلیم نیمه‌خشک، ۱۷٪ در اقلیم خشک، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی گرم، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی معتدل، ۹٪ در اقلیم مدیترانه‌ای، ۵٪ در اقلیم نیمه‌مرطوب، ۴٪ در هر کدام از اقلیم‌های مرطوب و خشک بیابانی سرد و ۱٪ در اقلیم خیلی مرطوب رخ داده‌اند. نتایج این پژوهش با یافته‌های پوزن و همکاران (۱۹۹۶) و پوزن و هوک (۱۹۹۷) مبنی بر افزایش گسترش فرسایش خندقی در اقلیم خشک در مقایسه با اقلیم مرطوب، هماهنگی دارد.

نتایج بررسی بافت خاک مناطق خندقی نشان داد که بافت غالب خاک در آنها شامل بافت‌های سیلت‌لوم، لوم و لوم‌شنی به‌ترتیب با ۲۶، ۲۳ و ۲۰٪ فراوانی بود. نتایج بررسی تغییرات درصد ذرات رس در مناطق خندقی نتایج نشان داد که اندازهٔ رس ۱۴٪ از مناطق خندقی کمتر از ۹٪، اندازهٔ رس ۶۵٪ از مناطق خندقی ۹ تا ۳۰٪ و اندازهٔ رس ۲۱٪ از مناطق خندقی بیش از ۳۰٪ بود. نتایج بررسی تغییرات درصد ذرات سیلت در مناطق خندقی نشان داد که اندازهٔ سیلت ۴۷٪ از مناطق خندقی کمتر از ۴۰٪، اندازهٔ سیلت ۴۰٪ از مناطق خندقی ۴۰ تا ۶۰٪ و اندازهٔ سیلت ۱۳٪ از مناطق خندقی بیش از ۶۰٪ بود. نتایج بررسی درصد تغییرات درصد ذرات شن نشان داد که اندازهٔ شن ۴۹٪ از مناطق خندقی کمتر از ۴۰٪، اندازهٔ شن ۳۶٪ از مناطق خندقی ۴۰ تا ۶۰٪ و اندازهٔ شن ۱۵٪ از مناطق خندقی بیش از ۶۰٪ بود. کمبود مواد آلی یکی از عامل‌های نشان‌دهندهٔ حساسیت مناطق نسبت به فرسایش خندقی است. خندق‌های ایران روی خاک‌های با مادهٔ آلی بسیار کم گسترش یافته‌اند. نتایج بررسی درصد تغییرات مادهٔ آلی نشان داد که اندازهٔ مادهٔ آلی در ۹۴٪ از مناطق خندقی کمتر از ۲٪ و اندازهٔ مادهٔ آلی در ۶٪ از مناطق خندقی ۲ تا ۳٪ بود. خندق‌ها معمولاً روی مراتع با مادهٔ آلی کمتر از ۱٪ و روی کشت‌های دیم و آبی با مادهٔ آلی ۱ تا ۳٪ گسترش یافته‌اند. با توجه به آستانه ۳/۵٪ مادهٔ آلی برای جدایش خاک‌های فرسایش‌پذیر، در مناطق نامبرده این اندازهٔ از مادهٔ آلی برای ایجاد مقاومت در برابر فرسایش آبی کافی نیست. نتایج بررسی اندازهٔ EC نشان داد که از دیدگاه شوری ۲ و ۱۴٪ از مناطق خندقی به‌ترتیب محدودیت شدید و خیلی شدید داشتند. نتایج بررسی نسبت جذبی سدیم نشان داد اندازهٔ نسبت جذبی سدیم در ۲۴٪ از مناطق بررسی‌شده بیشتر از ۱۵ بود. نتایج بررسی تغییرات شیب نشان داد که طبقهٔ شیب در ۷۰٪ از مناطق خندقی کمتر از ۱۲٪، طبقهٔ شیب در ۱۶٪ از مناطق خندقی ۱۲ تا ۲۵٪ و طبقهٔ شیب در ۱۴٪ از مناطق خندقی بیشتر از ۲۵٪ بود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های مورتینز و همکاران (۲۰۰۲) مبنی بر اینکه دو عامل سطح آبخیز و درجهٔ شیب را عامل مؤثر بر ایجاد خندق‌های موقتی گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد. همچنین، شادفر و همکاران (۲۰۰۷) در آبخیز قشلاق البرز گزارش کردند که ۹۸٪ از خندق‌ها در طبقهٔ شیب ۵-۰٪ رخ داده‌اند، که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. طبقه‌های گوناگون شیب و اندازهٔ خندق‌های رخ‌داده در هر یک از طبقه‌ها در شکل ۱ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج این پژوهش فراوانی فرسایش خندقی موجود در عرصه‌های بررسی‌شده نشان داد که طبقهٔ بلندی در ۴۶٪ از مناطق خندقی کمتر از ۱۰۰۰ متر، طبقهٔ بلندی در ۲۳٪ از مناطق خندقی ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر، طبقهٔ بلندی در ۲۱٪ از مناطق خندقی ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر و طبقهٔ بلندی در ۱۰٪ از مناطق خندقی بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا بود.



شکل ۱- طبقه‌های گوناگون شیب و اندازهٔ خندق‌های رخداده در طبقه‌ها.

Figure 1- Different classes of slope and the amount of gullies occurred in the classes.

در این پژوهش تغییرات کاربری زمین به‌عنوان یکی از عامل‌های مؤثر در رخداد فرسایش خندقی بررسی شد. نتایج مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی نشان داد که تغییرات تبدیل مرتع به زراعت دیم (۵۵٪)، تغییرات تبدیل مرتع به زمین‌های رهاشده و بایر (۴٪)، تغییرات تبدیل جنگل به مرتع و زراعت دیم (۴٪)، تغییرات تبدیل مرتع به زراعت آبی(۳٪)، تغییرات تبدیل زراعت به مرتع و باغ (۲٪)، تغییرات تبدیل زراعت آبی به زمین‌های رهاشده (۲٪) و تغییرات تبدیل مرتع به جاده (۱٪) بود. ۱۸ ٪ ازمناطق دارای کاربری مرتع و ۳ ٪ از مناطق دارای کاربری زراعت دیم نیز بدون تغییر باقی مانده اند(جدول۳). محققانی مانندگریس (۲۰۰۴) وگالانگ و همکاران(۲۰۰۷) تغییر کاربری را در گسترش خندق-ها بسیار مهم‌تر از سایر عامل‌های می‌دانند.

جدول۳- مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی.

Table 3- Comparison of old and new land uses in gully areas.

Percent	Current Land use	Past Land use
55	Dry farming	Rangeland
4	Bare land	Rangeland
4	Rangeland and Dry farming	Forest
3	Water farming	Rangeland
2	Rangeland and garden	Agriculture
2	Bare land	Water farming
1	Road	Rangeland
18	Rangeland	Rangeland
3	Dry farming	Dry farming
8	Mining, water farming	Other (Rangeland, bare land, etc.)

بیشتر عملیات‌های جاده‌سازی موجب تمرکز هرزآب‌های بالادست در آبراهه‌های زیر جاده‌ها و ایجاد خندق در پایین‌دست جاده می‌شود. در ۳۸٪ از مناطق خندقی جاده‌سازی به عنوان یکی از عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شد. این یافته با نتایج پژوهش‌های آچن و همکاران (۲۰۰۸) و کروک و موکر (۲۰۰۱) مطابقت دارد. شخم در زمین‌های شیبدار همه ساله باعث فرسایش و کاهش اندازهٔ درصد حاصلخیزی خاک شده و اندازهٔ محصول در هر هکتار را به‌شدت کاهش می‌دهد. در ۲۷٪ از مناطق خندقی

شخم در جهت شیب به‌عنوان یکی از عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شد. این یافته با نتایج پژوهش میانگ‌نر و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر اینکه علت غالب خندق‌های موقت ایجادشده در زمین‌های - زراعی آمریکا را عملیات شخم گزارش کرد، هماهنگی دارد. در این پژوهش، نتایج درصد فراوانی مناطق خندقی از دیدگاه طول نشان داد که ۴۲٪ از خندق‌ها در گروه خندق‌های کوچک بودند و ۱۸٪ از خندق‌ها متوسط و ۴۰٪ از خندق‌ها در گروه خندق‌های بزرگ بودند. در مناطق خندقی بررسی‌شده ۴۳٪ از سطح مقطع خندق‌ها Vشکل، ۴۱٪ سطح مقطع خندق‌ها Uشکل و ۱۶٪ از سطح مقطع خندق‌ها ذوزنقه‌ای شکل بود. با بررسی نتایج پژوهش‌ها در ۲۱ استان کشور در راستای فرسایش خندقی مشخص شد که بیش از ۱/۴ میلیون هکتار از عرصه‌های مراتع، زراعت دیم و آبی و ابنیه، راه‌های روستایی و آسفالته، منازل روستایی، دکل‌های برق و ... در معرض خطر فرسایش-خندقی هستند که خطر نابودی آنها را تهدید می‌کند. سرانجام، اندازهٔ مساحت فرسایش خندقی رخ‌داده همراه با نوع و اندازهٔ خسارت بر اساس قیمت روز برای استان‌ها برآورد شد (جدول ۴).

جدول ۴- اندازهٔ خسارت ناشی از فرسایش‌خندقی.

Table 4- The amount of damage caused by gully erosion.

The value of damage (million rials)	Type of damage	Gully Area (ha)	Province
17400	Road, rangeland	256.52	Esfahan
18000	agriculture	29400	Bushehr
97560	Forest, rangeland, rain fed	32520	Chahar Mahal and Bakhtiari
2300000	Rangeland, road, building, village, garden	188125	Sistan and Baluchistan
339000	Village, Dry farming, Rangeland, Building, Road	47925	Fars
85000	Agriculture, Rangeland, Industry	6427.6	Qom
11580	Agriculture, building, road	16962.3	Kurdistan
20000	Road, water channel, electricity tower, agriculture	33925	Kerman
1500000	Building, Rangeland, Dry farming	60560	Golestan
3000	Rangeland, Dry farming	47347.6	Khorasan
3500	Building, Rangeland	1038	Guilan
20000	Road, Bridge, Agriculture	14663	East Azerbaijan
113	Dry farming, Rangeland, Road	16000	Semnan
77760	Dry farming, Rangeland	259200	Kohkilouye and Boyer Ahmed
1376607	Dry farming, Rangeland, Road	432947	Kermanshah
140480	Dry farming, Rangeland, Road	24060	Ardabil
4093.5	Rangeland	5506.5	Qazvin
187000	Building, Rangeland, Dry farming, Road, Garden	153570	Ilam
10897	Rangeland, Dry farming, Village	3630	Zanjan
2596.5	Rangeland, Rural houses	3328	Mazandaran
601925.6	Rangeland, Foundation of oil pipes, Electricity and telecommunications tower, rural road	49978	Khuzestan
6816513.6		1427369.52	Sum

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

توصیه‌های فنی و ترویجی برای بخش اجرا

در این پژوهش، موقعیت مکانی فرسایش خندقی با وسعت ۵۰۰ هکتار مشخص شد. از آنجایی که تاکنون ادارات آبخیزداری در استان‌های گوناگون نقشهٔ رقومی آن را نداشتند، نقشهٔ رقومی این مناطق تهیه شد. این کار نیز در پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری

انجام شد. دیگر ادارات آبخیزداری استان‌ها نیز در حال به‌روز رسانی این اطلاعات هستند. در نقاط گوناگون ایران علت‌های ایجاد و گسترش خندق‌ها مشخص شد. بررسی‌های میدانی این پژوهش نشان داد که به‌طور میانگین حدود ۴۰٪ از خندق‌های ایران با بهره‌گیری از راهکارهای گوناگون و متنوع مهار شده‌اند و برای ۶۰٪ دیگر هیچ عملیات مهارکننده‌ای انجام نشده است. همچنین، پدیدهٔ فرسایش خندقی، سبب نابودی زمین‌های کشاورزی و مرتعی در بسیاری از آبخیزها شده و مشکلات زیادی برای آبخیزنشینان به‌وجود آورده است. ازاین‌رو می‌توان گفت برنامه‌ریزی بودجه برای مهار آنها لازم و ضروری است. پیشنهاد می‌شود برای پیشگیری از ایجاد خندق از راهکارهایی چون جلوگیری از تبدیل مراتع به دیم‌زار، بهبود وضعیت مراتع فقیر با روش‌های مدیریتی مانند قرق و چرای تناوبی، بذرپاشی و بذرکاری، انتقال رواناب تولیدی از راه‌های ساخته‌شده به مناطق بدون شیب، طراحی و ایجاد سامانه‌های جمع‌آوری رواناب به‌دست آمده از باران در کنار راه‌ها و مناطق ویران‌شده و زمین‌های برهنه مانند ساخت دریاچه‌های جمع‌آوری سیلاب، ایجاد موانع گیاهی از بوته‌ها و گراس‌ها روی زمین‌های شیب‌دار با کاربری دیم در فاصله‌های معین به‌منظور کاستن حجم و سرعت رواناب تولیدی، اجرای پوشش سنگریزه در زیر آبگذرهای جاده‌ای به‌منظور کاهش انرژی رواناب تخلیه‌شده و جلوگیری از فرسایش، بهره برد. همچنین، پیشنهاد می‌شود برای مدیریت خندق‌ها و پرکردن خندق‌هایی با ژرفای یک متر و ایجاد پوشش گیاهی روی آنها از مواد آبرفتی درشت‌دانه مخلوط‌شده با ریزدانه استفاده شود. بر اساس نتایج این پژوهش استفاده از بندهای اصلاحی خشکه‌چین، گابیونی و خاکی برای خندق‌های بزرگ‌تر از یک متر ژرفا و ایجاد یک بند خاکی در انتهای خندق‌های با ژرفای متوسط برای به دام انداختن رسوبات پیشنهاد می‌شود تا از آب جمع‌آوری‌شده برای باغ‌های ساخته‌شده در درون خندق‌ها و یا در پیرامون آنها استفاده شود. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که می‌توان خندق‌های دراز و بزرگ را به‌وسیلهٔ سازه‌های نامبرده و ساخت بند در درون آنها تقسیم کرد تا سیلاب برای زراعت در پیرامون خندق‌ها و درون مسیر خندق‌های پهن (با پهنای بزرگتر از ۱۰ متر) برای کشت، جمع‌آوری شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده طرح ریخت‌شناسی اقلیمی به‌منظور مدیریت و اولویت‌بندی مناطق خندقی ایران بر اساس نقشهٔ خندق‌های ایران اجرا شود و از روش‌شناسی ویژهٔ نیز استفاده شود. همچنین، سهم رسوب به‌دست آمده از فرسایش خندقی در مقایسه با دیگر شکل‌های فرسایش بسیار زیاد است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود پهنه‌بندی و تعیین پهنه‌های گوناگون خطر و مهار فرسایش خندقی از جمله اولویت‌های پژوهش‌های آینده در این زمینهٔ باشد.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندهٔ اول: نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله، انجام تحلیل‌های آماری، بررسی نتایج.

نویسندهٔ دوم: راهنمایی و مشاوره، بازبینی متن مقاله.

فهرست منابع

Ahmadi H. 1999. Applied geomorphology, volume 1, water erosion, Tehran University Press. 688 p.

Achten WMJ, Dondeyne S, Mugogo S, Kafiriti E, Poesen J, Deckers J, Muys B. 2008. Gully erosion in South Eastern Tanzania: Spatial distribution and topographic thresholds. Zeitschrift für Geomorphologie Zeitschrift für Geomorphology. 52(2): 225-235.

Ali Rezae H, Soufi M, Farhadi AS, Ahmadyan M, Nazripoya H, Amiri M. 2005.

Morphoclimatic classification of gullies in Hamadan Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 69 p. (In Persian).

Asgari S, Shirani K. 2024. Evaluation of the effective factors in gully erosion sensitivity using Dempster-Shafer. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards. 11 (2): 8.137-159.

Azami A, Seyavoshi K, Jafari M, Pirani A. 2012. Morpho climatic classification of gullies in Ilam Province, Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 106 p. (In Persian).

Billi CI, Faulkner PH, Espin GD, Levett MJ, Nicholsen. 1986. Problems of protection against piping and surface erosion in central Tunisia, Environmental Conservation 13(1): 27-40.

Croke J, Mockler S. 2001. Gully initiation and road-to-stream linkage in a forested catchment, southeastern Australia. Earth Surface Processes and Landforms. 26: 205-217.

Galang MA, Markewitz D, Morris LA, Busseli P. 2007. Land use change and gully erosion in the Piedmont region of South Carolin. Journal of Soil and Water Conservation. 62:122-129.

Gómez Gutiérrez A, Schnabel S, Lavado Contador F. 2009. Gully erosion, land use and topographical thresholds during the last 60 years in a small rangeland catchment in SW Spain. Land Degradation and Development. 20 (5): 535 – 550.

Grace JM. 2004. Soil erosion following forest operations in the Southern Piedmont of central Alabama. Journal of Soil and Water Conservation. 59:180-185.

Hedarimorchehkhorti F, Ghoddosi J, Madanchi P. 2006. Investigating the gully erosion development mechanism (Kerman Province). Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 67 p. (In Persian).

Kukal S, Matharu GS. 2002. Behavior of gully erosion in relation to catchment characteristics in foothills of lower Shivaliks. 17th World Congress on Science and Soccer. pp. 14-21 August 2002, Thailand, P628-1-6.

Mar Tinez, Casasnovas A, Anton Fernandes C, Ramos MC. 2002. Sediment production in large gully of the Mediterranean area (NE Spain) from high- resolution digital elevation models and geographical information system analysis. Earth Surface Processes and Landforms, Published by Wiley and British Society for Geomorphology.

Morgan RPC, Mngomezulu D. 2003. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in the Middle Veld of Swaziland. Catena. 50: 401–414.

Menéndez-Duarte R, Marquínez J, Fernandez-Menéndez S, Santos R. 2007. Incised channels and gully erosion in Northern Iberian Peninsula: Controls and geomorphic setting, Catena. 71 (2): 267-278.

Montgomery DR. 1994. Road surface drainage, channel initiation, and slope instability, Water Resources Research. 30: 1925-1932.

Mortezae frezhandi G. 2005. Evaluating the quantitative effect of environmental variables in the occurrence of gully erosion and introducing the most suitable model for predicting the length growth of gullies. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University Science and Research Unit.

Nachtergaele J. 2001. A spatial and temporal analysis of the characteristics, importance and prediction of ephemeral Gully erosion. Un publ. Ph.D. Thesis, Department of Geography– Geology, K.U. Leuven. 255 p.

Nekoemehr M, Charkhabi AH, Raeesian R, Amami SN. 2011. Investigating the morphoclimatic characteristics of gullies in Chaharmahal and Bakhtiari Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 125 p. (In Persian).

Nwankwo C, Nwankwoala HO. 2018. Gully erosion susceptibility mapping in Ikwuano Local Government Area of Abia State, Nigeria using GIS Techniques. Earth Sciences Malaysia. 2(1): 8-15.

Parvaresh A. 1992. Investigating the relationship between geomorphology and erosion in the Guriz Watershed of Bandar Langeh City (Emphasis on gully erosion). M.Sc. Thesis in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 255 p. (In Persian).

Poesen J, Govers G. 1990. Gully erosion in the loam belt of Belgium. Topology and control measures. Soil erosion on agriculture land. Proceedings of a workshop sponsored by the British Geomorphological Research Group, Coventry, UK. pp. 513-530.

Poesen j k, Vandaele B, Van Wesemael. 1996. Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. Proceeding of the Exeter

Symposium. Association of Hydrological Sciences. pp: 251-266.

Poesen J, Hooke M. 1997. Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environment s of Southern Europe. Progress in Physical Geology. 21 (2): 157-199.

Rahi GR. 1998. Investigating the mechanism and causes of ditch erosion in Ganaveh, MSc thesis in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares. 106 p. (In Persian).

Sarvati MR, Ghoddosi J, Dadkhah M. 2008. Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. Pajouhesh and Sazandegi. 78: 20-33. (In Persian).

Shadfar S, Fattahi MM, Namaki M, Sharifi E. 2007. Investigating some effective factors on gully erosion, a case study of Qeshlaq Alborz Watershed. The third Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management-Kerman. December 1, 2007. (In Persian).

Shadfar S, Sobhzahedi SH. 2007. Investigating the causes of gully erosion development in the Aliabad watershed of Gillan. The 4th Conference of Iran Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Karaj. March 1, 2007 (In Persian).

Shadfar S. 2010. An introduction to gully erosion. Entekhab Publications, 141 p. (in Persian).

Shadfar S. 2015. A study and evaluation of results of the effective factors on gully erosion in Iran. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 59. p. (In Persian).

Shahrivar A. 1997. Investigating the factors affecting the creation of Gully erosion and presenting a model in Souq region (Dehdasht), M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 128 p. (In Persian).

Shirani k. 2019. Zoning sensitivity to gully erosion using maximum entropy probabilistic model, case study: South of Esfahan Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 178 p (In Persian).

Shirani K. 2021., Gully erosion mapping and susceptibility assessment using statistical and probabilistic methods. Journal of Hydrology and Soil Science. 25 (2):151-174.

Shirani K, Peyrowan H, Shadfar S, Asgari S. 2023. Gully erosion mapping based on hydro geomorphometric factors and geographic information system. Environmental Monitoring and Assessment. 195(721):1-25

Shirani k. 2024. Determination of the most important conditioning factors thresholds and gully erosion susceptibility modelling assessment in selected watersheds. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 215 p. (In Persian).

Soufi M. 2003. The relationship between climate change and Gully erosion. Proceedings of the third Regional Conference and the First National Climate Change Conference, Esfahan. pp. 82-88 (In Persian).

Soufi M, Chakhabi AH. 2005. Investigating the causes of gully erosion in a dry desert ecosystem. Proceedings of the 9th Soil Science Congress. 2: 475- 477.

Soufi M. 2009. Investigation and morphoclimatic classification of gullies in Iran. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 105 p. (In Persian).

Vesisartayere C, Asfandyari dorafadi F. 2015. The role of slope in the formation and expansion of Gully erosion (case study: Salas-Babajani City). First National Conference on New Achievements in Life Sciences and Agriculture. Zabol University. 5 p.

Wemple BC, Jones JA, Grant GE. 1996. Channel network extension by logging roads in two basins, Western Cascades, Water Resources Bulletin. 32(6): 1195-1207.

Wijdennes DJO, Brayan RB. 1991. Gully head cuts as sediment source on the Njemps flats and initial low-cost gully control measures. Cremlingen – Destedt, Germany. Catena. pp. 205-229.

Zare mehrjerdi M, Soufi M, Chopani S, Pishkar A. 2005. Investigating the morphoclimatic characteristics of Gullies in Hormozgan Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 52 p. (In Persian).

Zhang Y, Wu Y, Liu B, Zheng Q, Yin J. 2007. Characteristics and factors controlling the development of ephemeral gullies in cultivated catchments of black soil region. Northeast China, Soil and Tillage Research. 96 (1-2): 28-41.

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Causes of Gully Erosion and Damages Caused by it in Iran

Samad Shadfar [1*], Majid Soufi [2]

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

2- Retired 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

Extended Abstract

Introduction and Goal

One of the types of water erosion that causes erosion and sediment in watersheds and causes a lot of damage to agricultural lands, range lands and infrastructure is gully erosion. By identifying the causes of gully erosion, land managers can prevent the expansion of gullies by considering and observing effective management factors. This research was conducted with the aim of examining gully erosion in the provinces of the country, identifying the factors influencing the expansion of gully erosion, determining the area affected by gully erosion, and estimating the damages resulting from it. In addition, the extent of the expansion of gullies in the classes of different factors and the damage caused by gullies in Iran were investigated

Materials and Methods

The materials used in this research are research projects that directly and indirectly focus on the expansion of gully erosion. Initially, several of the most important factors influencing gully erosion in the watersheds of the country were examined. Then, all classified factors and their relationships with areas affected by gully erosion were analyzed. In this research, the climates of gully-affected areas were classified using the extensive Dummartin method, and the relationship between different climates and the frequency of gullies was examined and calculated. Comparison of old and new land uses in gully areas, soil texture and range of soil particle changes, EC changes, organic matter changes, SAR changes in gully areas, slope, road construction, and plowing in the slope direction as some of the most important. The effective factors were investigated in the expansion of gully erosion. Finally, the area of gully erosion occurred along with the type of damage and the estimated amount of damage has been estimated based on daily prices for the provinces.

Results and Discussion

The results of the analysis of the relationship between different climates and the frequency of gullies indicated that 32% of gullies are in semi-arid climates, 17% in dry climates, 14% in dry and hot desert climates, 14% in dry and temperate desert climates, and 9% in Mediterranean climates, 5% occurred in semi-humid climates, 4% in humid and dry cold desert climates respectively, and 1% in very humid climates. The comparison of old and new land uses in gully areas showed that 55 %of the gullies were created as a result of changing the land use of rangeland to dry farming agriculture.

Article Type: Research Article

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

Citation: Shadfar, S., Soufi, M. 2025. Causes of gully erosion and damages caused by it in Iran. Watershed Management Research. 38(2): 83-97.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.367344.1597

Received: 19 October 2024, **Received in revised form:** 16 November 2024, **Accepted:** 19 December 2024

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 83-97.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)

CC BY

Silt Loam, Loam, and Sandy Loam are the dominant soil textures in gullies with 26, 23, and 20%, respectively. 14 %of the studied areas have very severe restrictions in terms of salinity. The amount of organic matter in the studied areas varies from 0.02 to 2.9%. The organic matter of 94% of the gully areas was less than 2%, and the organic matter of about 6% of the areas varied from 2 to 2.9%. The results of the sodium absorption ratio study showed that the sodium absorption ratio of 24% of the gully areas was greater than 15. The slope of 70% of the gully areas was less than 12%, 16% of the gully areas were in the slope class of 12 to 25%, and 14% of the gully areas were in the slope class of more than 25%. In 38% of the gully areas, road construction and in 27% of them, plowing in the direction of the slope were identified as factors affecting gully erosion.

Conclusion and Suggestions

Based on the results of this research, the highest frequencies of gullies were observed in semi-arid climates rain fed agriculture and the soils with silty loam texture. Additionally, gullies have expanded in areas with very severe salinity limitations, very low organic matter, and high sodium absorption ratios. In some areas, road construction and plowing in the direction of the slope are also known as effective factors in gully erosion. Based on the results of this research, the damage caused by the expansion of Iranian gully was calculated to be about 700 billion Tomans. Also, due to the onset of a long-term drought period, it is suggested that conservation plans (biological) and in some cases combined (biological and structural) be used to reduce the expansion of Iranian gullies. Also, in areas where improper agricultural practices have led to the expansion of gullies, farmers should be educated, particularly in the area of proper plowing techniques. Additionally, in the studied areas, land use change was identified as the most significant human factor affecting the occurrence of gully erosion. Therefore, it is recommended to avoid land use changes.

Keywords: Climate, damage, gully erosion, land use change, organic matter, plowing in the direction of the slope

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.

Author's Contribution

Samad Shadfar: drafting the initial manuscript, performing statistical analyses, verifying results.

Majid Soufi: Supervision and guidance, reviewing the manuscript.

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد فارس

علی‌رضا مجیدی [1*]، حمید حسینی‌مرندی [2]

۱- استادیار بخش تحقیقات هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

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

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

سدهای زیرزمینی سازه‌های آبی هستند که برای مسدود یا منحرف کردن جریان‌های زیرزمینی و زیرسطحی، ساخته می‌شوند. استفاده از این فن‌آوری با هدف مدیریت، مهار، حفاظت و توسعهٔ منابع آبی کوچک، در نواحی خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، توصیه‌شده است. آبخیز سد زیرزمینی اسلام آباد به‌دلیل کوهستانی بودن بدون سفره آب زیرزمینی آبرفتی است و منابع آب زیرزمینی محدود به آب زیرسطحی در آبراهه‌ها و یا آب سازند سخت است. ازاین‌رو، سد زیرزمینی یکی از راه‌کارهای تأمین آب در چنین شرایطی است. ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی توده‌سنگ و آبرفت بستر آبراهه، تأثیر مستقیمی بر موفقیت، ایمنی و پایداری طرح‌های سد زیرزمینی دارد. در این پژوهش، در انتخاب محل سد، بررسی‌ها و مطالعه‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیک با هدف تعیین ساختارهای زمین‌شناسی، چینه‌شناسی و جنس سازندها، سطوح ناپیوستگی و گسل‌ها، دانه‌بندی، خصوصیات هیدرودینامیکی و ضخامت آبرفت بستر، موقعیت و شرایط آب‌های زیرزمینی در پی سد و منطقه آبگیر، به منظور برآوردی از حجم آبگیر و آب‌بندی آن، انجام شد. موفق نبودن و شکست طرح‌های سدسازی، اغلب ناشی از بررسی‌های ناکافی مهندسی و زمین‌شناسی در مراحل قبل از ساخت است.

مواد و روش‌ها

آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد در شهرستان ارسنجان استان فارس و در بلندی‌های پهنه زاگرس است. شکل کنونی آبخیز و شکستگی‌های پرشمار در محدوده مطالعه‌شده به تبعیت از ویژگی‌های این پهنه و متأثر از وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی منطقه است.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی:** Majidi_geo@yahoo.com

استناد: مجیدی، ع.ر.؛ حسینی‌مرندی، ح.؛ ۱۴۰۴. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۲): ۱۱۷-۹۸.

شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.367366.1598

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۹/۱۸، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۹، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های۹۸ تا ۱۱۷ .

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

© نویسندگان

CC BY

در این پژوهش، گروه‌های آب‌شناختی خاک در سطح آبخیز، با هدف برآورد آب زیرسطحی و بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی توده‌سنگ و آبرفت بستر در محل ساختگاه سد برای برآورد حجم و ذخیره‌سازی آب به‌وسیلهٔ سد زیرزمینی، ارزیابی شد. ازاین‌رو، ابتدا اطلاعات پایه در رابطه با منطقه، به‌ویژه زمین‌شناسی مهندسی آن جمع‌آوری و بر این اساس، پیشنهادی برای ساخت سد زیرزمینی در نظر گرفته شد. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از گمانه‌ها، برداشت‌های میدانی، آزمون‌های برجا، بررسی‌های آزمایشگاهی و زمین‌شناسی ناحیه، وضعیت و ویژگی‌های ژئوتکنیکی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد، بررسی و ارزیابی شد.

نتایج و بحث

در منطقهٔ مطالعه‌شده، منابع آب زیرزمینی محدود به آب زیرسطحی در آبرفت بستر آبراهه و یا آب سازند سخت (توده‌سنگ‌های درز و شکاف‌دار) بود. در محل ساختگاه سد اسلام‌آباد، مهم‌ترین عامل زمین‌شناسی مؤثر بر ذخیره‌سازی آب، وضعیت و تراکم سطوح ناپیوستگی (گسل و ساختارهای درز و شکاف موجود در توده‌سنگ‌ها و دانه‌بندی و تراکم آبرفت بستر)، بود. نتایج بررسی‌های درزه‌نگاری مهندسی بیانگر وجود چند دسته درزه در توده‌سنگ‌های منطقهٔ مطالعه‌شده به‌ویژه در تکیه‌گاه راست، با توان آبگذری، بود. با بررسی‌های میدانی و نتایج حفاری، ضخامت هوازده سنگ در محل ساختگاه میان ۱ تا ۲ متر برآورد شد. آبرفت در بستر محل ساختگاه سد لایه‌بندی بود و ضخامت آن میان ۶ تا ۱۰ متر بود. آبرفت اولیه بستر با ضخامت ۱ تا ۱/۵ متر درشت‌دانه بود و مابقی ضخامت آبرفت از شن و ماسه همراه با درصدی ریزدانه، تشکیل‌شده بود. نفوذپذیری آبرفت بستر به‌دلیل تراکم متوسط تا نسبتاً کم (حدود 10^{-4} سانتی‌متر بر ثانیه) بود. چسبندگی آبرفت میان ۰/۰۳ تا ۰/۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و اصطکاک داخلی میان ۲۸ تا ۳۹ درجه، متغیر بود. نتایج آزمایش مکانیک خاک نمونه‌های آبرفت، بیانگر درشت‌دانه بودن آبرفت بود و سنجه‌های مقاومت برشی آن نشان‌دهندهٔ پایداری مناسب خاک برای گودبرداری و نشست بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج درزه‌نگاری و بررسی آماری ویژگی‌های مهندسی دسته درزه‌ها، بیانگر توان فرار آب در تکیه‌گاه راست بود که دلیل آن رفتار متفاوت توده‌سنگ‌ها در دو سوی بستر سد، در مقابل تنش‌های زمین‌ساخت منطقه، بود. این پدیده، به‌دلیل ضخامت لایه‌بندی، اندازهٔ تراکم و درصد رس در بدنه توده‌سنگ‌های آهکی و تناوب لایه‌های سخت با میان لایه‌های شکل‌پذیر و مارن یا شیل نسبتاً نرم بود. نتایج طبقه‌بندی مهندسی توده‌سنگ با روش (RMR) نشان داد که توده‌سنگ‌های ساختگاه سد در ردهٔ سنگ‌های مناسب برای اجرای سازه بودند. نتایج حدود اتربرگ و اندازهٔ چسبندگی خاک محل ساختگاه سد، نشان داد که بیشتر ویژگی‌های رس‌های موجود در آبرفت بستر، از گروه کائولینیت و ایلیت بوده و ظرفیت تورمی و چسبندگی کمی دارند. نتایج تجزیهٔ شیمیایی آب نشان داد، سدیم، کاتیون غالب در ترکیب شیمیایی آب زیرسطحی منطقه، بود. ازاین‌رو، این یافته نشان‌دهندهٔ ظرفیت واگرایی در بخش ریزدانه آبرفت بستر بود. ضخامت، تراکم و دانه‌بندی آبرفت بستر و نتایج آزمایش لوفران، نشان داد که آبرفت ساختگاه، از دیدگاه ضریب ذخیره، حجم ذخیره و آب‌دهی، برای ساخت سدزیرزمینی در حد متوسط بود. ازاین‌رو، بر اساس این یافته‌ها، مناسب‌ترین روش بهره‌برداری از آبگیر، روش زهکش تحتانی با ایجاد زهکش‌هایی در طول آبگیر، پیشنهاد می‌شود و روش پمپاژ درون‌چاهی مناسب نخواهد بود.

واژگان کلیدی

آبرفت، آزمایش لوفران، طبقه‌بندی مهندسی توده‌سنگ، فرار آب، نفوذپذیری

مقدمه

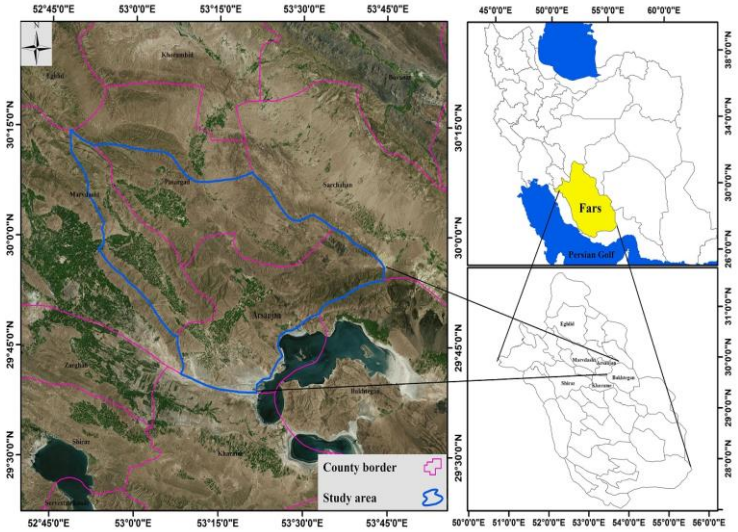
ضرورت توسعه و نیاز به منابع آبی به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. روش‌های مختلفی برای توسعهٔ منابع آبی مطرح شده است. یکی از مهمترین روش‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، مهار، ذخیره‌سازی و توسعهٔ منابع آب زیرزمینی و مدیریت و بهینه‌سازی مصرف آن است. سدها می‌توانند به‌طور مؤثری توزیع جغرافیایی و زمانی منابع آب را مهار کنند. یکی از جدی‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی که بسیاری از کشورها با آن مواجه هستند، کمبود منابع مناسب آب است. غیرقابل پیش‌بینی بودن اندازهٔ و زمان بارش باران، همراه با طولانی بودن دوره‌های خشک‌سالی، بر امنیت غذایی و آبی در نواحی خشک و نیمه‌خشک تأثیرگذار است (سردسزنی و همکاران ۲۰۱۷، کوتیر ۲۰۱۱). راه‌حل‌های خردمندانه در انتخاب محل، تعادل میان بوم‌شناسی و انرژی را ایجاد می‌کند و همچنین آسیب‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. در مقابل، انتخاب نادرست محل می‌تواند پیامدهای منفی داشته باشد (آدهیکاری و همکاران ۲۰۱۹). سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که جریان‌های زیرقشری و یا آب‌های زیرزمینی را منحرف، مسدود و یا مهار کرده و سبب ایجاد آبگیرهای آبی مهارشونده در زیرزمین و در محیطی متخلخل و دور از آلودگی و تبخیر، می‌شوند. با توجه به عملکرد سد زیرزمینی، اساسی‌ترین عامل در موفقیت ساخت و بهره‌برداری سد زیرزمینی، تعیین مکان مناسب برای ساخت این سازه است. سنجه‌ها و شرایط زمین‌شناسی و هندسی مکان، نقش بسیار مهمی در طراحی، شیوهٔ اجرا و اندازهٔ بهره‌وری سد زیرزمینی خواهند داشت. در میان ویژگی‌های محیطی و طبیعی، مهمترین آن ویژگی زمین‌شناسی است (ایچیکاوا ۱۹۹۹). بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی برای انتخاب محل سد با هدف تعیین ساختارهای زمین‌شناسی، جنس سازندها، لایه‌بندی، سطوح ناپیوستگی و گسل‌ها، چینه‌شناسی و توالی لایه‌ها، دانه‌بندی، موقعیت و شرایط آب‌های زیرزمینی در پی سد و منطقه آبگیر، انجام می‌شود. در پژوهشی سیساکیان و همکاران (۲۰۲۰)، بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیک را در چهار گروه اصلی انجام دادند. این ۴ گروه شامل: (۱) زمین‌شناسی المان‌های سد و سازه‌های جانبی (پی‌سد، سرریزها و محل اسقرار ساختار بهره‌برداری). (۲) زمین‌شناسی منطقه آبگیر و پی (آب‌بندی، ضریب ذخیره، نشست). (۳) پایداری شیب‌ها در محل سد، آبگیر و تکیه‌گاه‌ها. (۴) پی‌جویی منابع مصالح و منابع قرضه که هم از دیدگاه فنی و هم اقتصادی مناسب باشند، بود. ویژگی‌های سازندهای زمین‌شناسی به‌طور کلی تأثیر قابل‌توجهی بر طراحی و ساخت و بهره‌برداری سدها دارند. چون، این ویژگی‌ها، افزون بر ویژگی‌های و رفتار پی، دسترسی به مصالح ساختمانی را مهار می‌کنند. نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی سد، برای آگاهی و شناخت ویژگی‌های فضایی نظیر، وضعیت و شرایط سطوح ناپیوستگی (درز و شکاف‌ها) و ارتباط آنها با پایداری تکیه‌گاه‌ها و پی و همچنین، نفوذپذیری، فرار آب و ارتباط آبی آبگیر با توده‌سنگ پی، بسیار مهم است (آدهیکاری و همکاران ۲۰۱۹، گارو و متن ۲۰۲۱، جیانگ و همکاران ۲۰۱۹). یکی از مباحث مربوط به بررسی‌های زمین‌شناسی در انتخاب مکان، نقش مهارکنندگی این عامل‌ها در شیوهٔ ایجاد شکل‌ها، ریخت‌شناسی و پستی‌بلندی سطح زمین از جمله شیب زمین، ریخت‌شناسی رود، تغییرات عرض و راستای بستر، شکل دره و شیب دامنه‌ها، ژرفای سنگ بستر و لایه‌بندی آبرفت بستر و ...، است (مون ۲۰۱۸). عامل‌های زمین‌شناسی با تأثیرگذاری بر ویژگی‌های خاک و سنگ‌ها، شرایط ژئوتکنیکی، ایمنی طرح، طراحی، ساخت، فرآیندهای زمین‌ریخت‌شناختی و منابع مصالح طبیعی برای ساخت، در انتخاب محل ساخت، تأثیرگذارند (برهان و وال‌راون ۲۰۱۳). ویژگی‌های زمین‌شناسی در محل سد بسیار مهم است و تأثیر مستقیمی بر موفقیت، ایمنی و پایداری طرح دارد. معیارهای زمین‌شناسی تا حدود زیادی در انتخاب نوع سد، مصالح ساخت، روش اجرا و بهره‌برداری سد، تأثیرگذارند (لیو و همکاران ۲۰۱۹، روی و بهالا ۲۰۱۷، ژانگ و همکاران ۲۰۱۵). ساختگاه سد از دیدگاه زمین‌شناسی و ژئوتکنیک (مانند غیر

قابل نفوذ بودن سنگ پی، تخلخل و ضریب ذخیرهٔ آبرفت، دوری از منطقه گسلی، نشست نکردن پی، نزدیکی به منابع مصالح بهینه و ....) باید شرایط فنی داشته باشد (مرا ۲۰۱۸). ویژگی‌های آبی و سازه‌ای توده‌های سنگی که متأثر از عامل‌ها و شرایط زمین‌شناسی و درز و شکاف‌ها هستند، از مهم‌ترین معیارها در بهره‌برداری، طراحی و ساخت سدها و دیگر سازه‌های آبی، هستند (برهان و همکاران ۲۰۱۷). موفق نبودن و شکست طرح‌های سدسازی، اغلب ناشی از بررسی‌های ناکافی مهندسی و زمین‌شناسی در مراحل قبل از ساخت است. بررسی و ارزیابی‌های دقیق زمین‌شناسی و ژئوتکنیک پیش از ساخت به‌ویژه روی ویژگی‌های هدایت آبی و زمین‌سازه‌ای توده‌سنگ‌ها و نهشته‌های آبرفتی، تضمینی در ایمنی سد هستند (سیساکیان و همکاران ۲۰۲۰، گورکاک و همکاران ۲۰۱۲). تجربیات جهانی در ساخت سدها چالش‌های زمین‌شناسی رایجی مانند نشت و ناپایداری را نشان می‌دهد که در زمان بلایای طبیعی، خطر شکست را افزایش می‌دهد (اسفائو و همکاران ۲۰۲۲). در اتیوپی، میکروسدهایی که از دهه ۱۹۷۰ برای مبارزه با خشک‌سالی و تقویت امنیت غذایی ساخته شده‌اند، به‌دلیل غفلت از بررسی‌های زمین‌شناسی و مهندسی، با شکست‌ها و مشکلات عملیاتی مواجه شده‌اند (تیرونه ۲۰۰۵، برهان و همکاران ۲۰۱۶). بررسی‌های جامع مهندسی زمین‌شناسی برای ایمنی و کارایی سدها بسیار مهم هستند (اسفائو و همکاران ۲۰۲۲).

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی ساختگاه سدزیرزمینی اسلام‌آباد

آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد از توابع شهرستان ارسنجان استان فارس است که در میان طول جغرافیایی ° ۵۳ و '۲۰ تا ° ۵۳ و '۴۰ شرقی و عرض جغرافیایی °۲۹ و '۵۸ تا °۳۰ و '۱۰ شمالی، واقع است (شکل ۱). جایگاه پیشنهادی این سد زیرزمینی در دره‌ای در ۳۵ کیلومتری شرق شهر ارسنجان و در مختصات (UTM) ۷۴۸۳۰۸ ، ۳۳۱۵۰۵۰، است. روستای اسلام‌آباد ۵۴ خانوار و ۲۹۰ نفر جمعیت دارد. در منطقهٔ مطالعه‌شده، روستاهای اسلام‌آباد و بیکهدان با اسکان تعدادی از خانوارهای عشایر، به‌وجود آمده است. مساحت زمین‌های کشاورزی روستای اسلام‌آباد حدود ۱۱۰ هکتار است که حدود ۳۰ هکتار آن به‌شکل باغ و حدود ۸۰ هکتار نیز به کشت محصولات زراعی اختصاص دارد. یکی دیگر از فعالیت‌های مهم این منطقه دامداری است. بررسی نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان داد که زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سدهای زیرزمینی و به‌ویژه بررسی‌های ژئوتکنیکی چندان سابقه‌ای نداشته و بطور کلی جدا از بررسی‌های معمول دیگر سدها دیده‌نشده است. با توجه به ضرورت بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی در ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد و از آنجایی که در این زمینه تاکنون بررسی انجام‌نشده بود، این پژوهش، برنامه‌ریزی و انجام شد. در این پژوهش تلاش شد تا با بررسی و تحلیل زمین‌شناسی مهندسی جایگاه پیشنهادی برای ساخت این سد زیرزمینی، الگویی کاربردی برای این نوع پژوهش‌ها نیز ارائه شود.



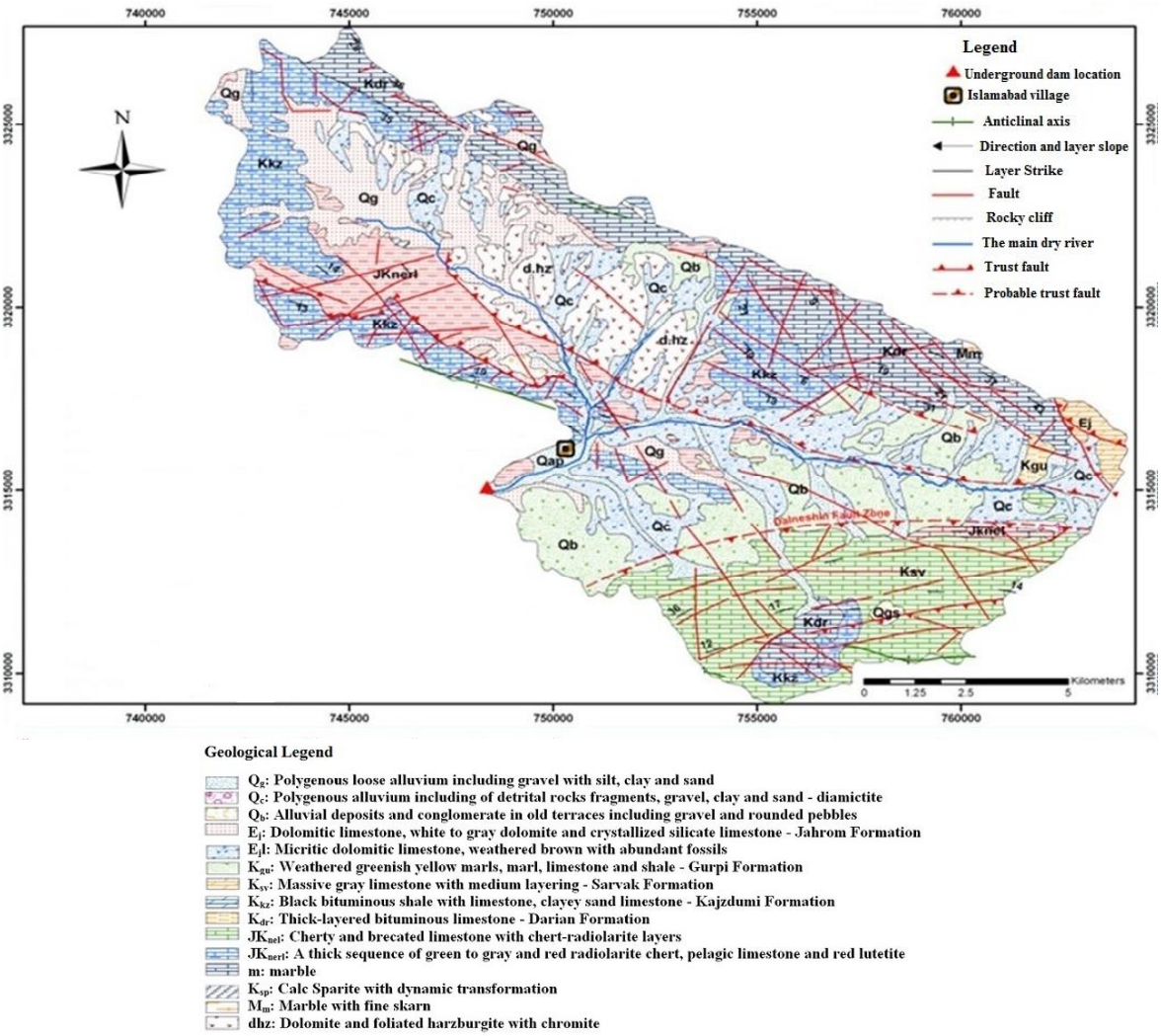
شکل -۱ موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده.
Figure 1- Location of the studied area.

ویژگی‌های اقلیمی

براساس آمار دورهٔ ۲۸ ساله (۶۱-۱۳۶۰ تا ۸۸-۱۳۸۷) ایستگاه هواشناسی ارسنجان، میانگین بارندگی ۳۱۲/۱ میلی‌متر است. میانگین ماهانهٔ دما °C ۱۲/۵ است. بیشترین و کمترین دما به‌ترتیب ۴۲ (تیرماه) و °C ۲۲- (دی‌ماه) است. در دوره آماری تبخیر کل سالانه ۱۷۹۷ میلی‌متر است. میانگین ماهانهٔ رطوبت نسبی از ۴۶٪/۵ در مردادماه تا ۶۹٪/۵ در دی‌ماه متغیر است. میانگین سالانهٔ رطوبت نسبی ۵۷٪/۸ است (آمار ایستگاه مادر سلیمان). بر اساس روش دومارتن منطقهٔ مطالعه‌شده با ضریب خشکی ۱۳/۹ در محدوده نیمه‌خشک است. بر اساس نمودار آمبرژه اقلیم این محدوده خشک و سرد است.

زمین‌شناسی

آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد در پهنهٔ زاگرس مرتفع است. وجود شکستگی‌های پرشمار در منطقهٔ مطالعه‌شده نیز به تبعیت از ویژگی‌های این پهنه می‌باشد. شکل کنونی آبخیز متأثر از وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی منطقه است. با توجه به موقعیت این منطقه در پهنه ساختاری ایران و عملکرد نیروهای زمین‌ساختی و وضعیت فشارشی، محور چین‌خوردگی در راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، است. به این دلیل رشته کوه‌هایی در این راستا شکل گرفته‌اند و مرزهای آبخیز را به‌وجود آورده‌اند. اگر از بلندی‌های مرز جنوب‌شرقی آبخیز صرف‌نظر شود، دیگر بخش‌های آبخیز شیب نسبتاً ملایمی دارند. این وضعیت بیانگر وجود سنگ‌های فرسایش‌پذیر در محدوده آبخیز است. در آبخیز، سازندهای زمین‌شناسی پرشماری رخنمون دارند که با توجه به سن آنها و براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه، از قدیم به جدید، به این شرح هستند (نقشه شکل ۲). الف- سنگ‌های آهکی (Jls)، در تکیه‌گاه چپ و راست سد رخنمون دارند. ب- رادیولاریت (Jra)، نیز در تناوب با لایه‌های آهکی در تکیه‌گاه چپ و راست سد برونزد دارند. ج- تراس‌های آبرفتی قدیمی (Qt) و د- تراس‌های آبرفتی جوان (Qap)، در حاشیه بستر رود تشکیل شده‌اند و مصالح سنگدانه‌ای نسبتاً تثبت‌شده و سیمانی‌شده با درصدی ریزدانه هستند. این نهشته‌ها نسبتاً تراوا تا تراوا می‌باشند. تراس‌های آبرفتی خیلی جوان یا رسوبات رودی (Qg)، در بلندی‌های کم و معمولاً در مجاورت بلافصل بستر آبراهه اصلی نهشته شده‌اند. مصالح درشت‌دانه و تقریباً مصالح شسته‌شده هستند که در مقایسه با تراس‌های جوان (Qap) تثبیت‌شدگی خیلی‌کمی دارند. از نظر دانه‌بندی نیز درصد رسوبات رسی در ساختار آنها کمتر است. به این دلیل انتظار می‌رود که تراوایی بیشتری داشته باشند.



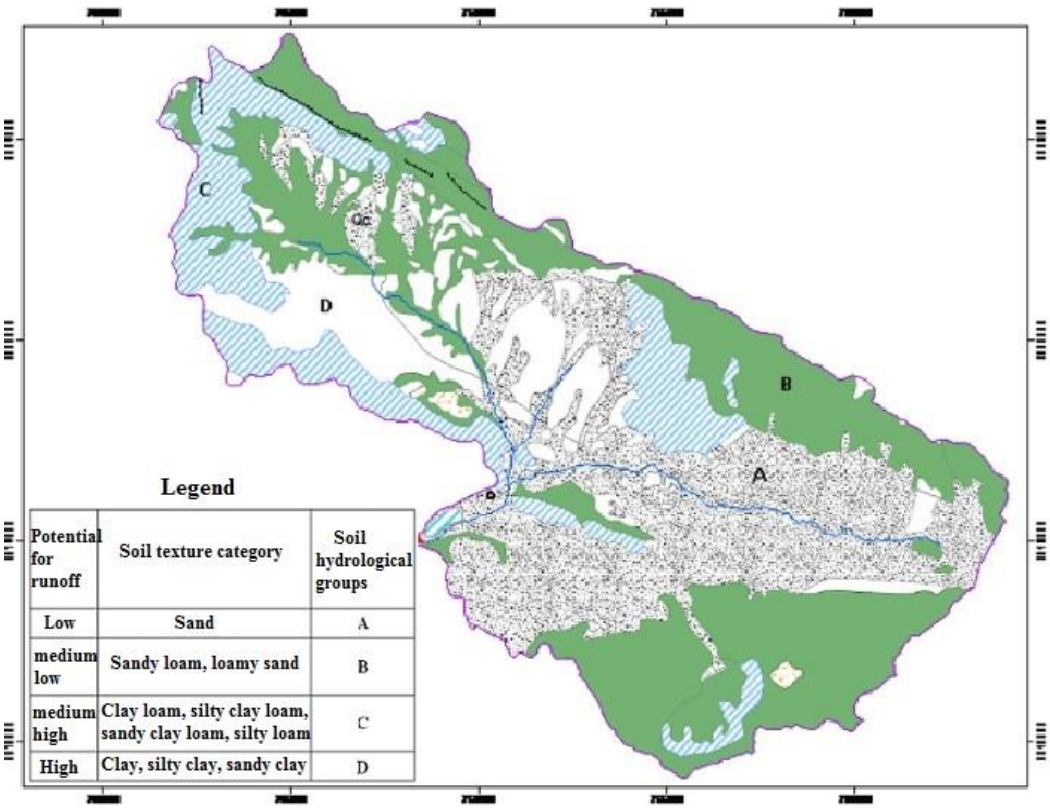
شکل ۲- نقشهٔ زمین‌شناسی آبخیز بالادست سد زیرزمینی اسلام‌آباد و موقعیت سد.

(اقتباس از نقشهٔ زمین‌شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی)

Figure 2. Geological map of the watershed upstream of the Islamabad underground dam and the location of the dam (Adapted from the geological map, sheet 1/100000 of the Geological Organization).

ویژگی‌های خاک در آبخیز بالادست ساختگاه

در این پژوهش، گروه‌های آب‌شناختی خاک در سطح آبخیز و جایگاه سد، براساس جنس خاک و سنگ‌های رخنمون یافته و درزه‌داری آنها و نوع و تراکم پوشش گیاهی و شیب سطح زمین، مشخص شد. این کار با هدف ایجاد برآوردی از ظرفیت رواناب و اندازهٔ نفوذ و جریان زیرسطحی، انجام شد. محدودهٔ گسترش این گروه‌ها در نقشه شکل ۳ نشان‌داده شده است. گروه A، رسوبات رودی بدون پوشش گیاهی و شیب خیلی‌کم، رسوبات واریزه‌ای- تراس‌های آبرفتی- رسوبات کوهپایه‌ای با شیب کم تا متوسط با پوشش گیاهی پراکنده تا متوسط، رواناب کم، نفوذپذیری زیاد. گروه B، سنگ‌های کربناته با گسل و درزه‌های فراوان، شیب متوسط، پوشش گیاهی کم، رواناب کم تا متوسط، نفوذپذیری متوسط. گروه C، شیل با میان لایه‌هایی از آهک و آهک مارنی و آهک ماسه‌ای، شیب دامنه متوسط تا زیاد، بدون پوشش گیاهی تا پراکنده، رواناب نسبتاً زیاد، نفوذپذیری نسبتاً کم تا کم. گروه D، سنگ‌های آذرین و دگرگونی، رادیولاریت‌های چرتی، شیب متوسط و گاهی کم، بدون پوشش گیاهی تا پراکنده، رواناب زیاد، نفوذپذیری کم.



شکل ۳-گروه‌های آب‌شناختی خاک در آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Figure 3- Soil hydrological groups in the watershed of Islamabad underground dam in the Islamabad.

ویژگی‌های منابع آب در آبخیز بالادست ساختگاه

منابع آب سطحی

شهرستان ارسنجان از دیدگاه منابع آب در محدوده آبخیز بختگان است و فاقد هرگونه منابع آب سطحی دایمی است. منابع آب سطحی شهرستان را عمدتاً مسیل‌های اصلی در بر می‌گیرند که معمولاً بیشتر در فصل زمستان فعال می‌شوند.

آب‌های زیرزمینی

آبخیز مطالعه‌شده، به‌دلیل کوهستانی بودن بدون سفره آب زیرزمینی آبرفتی است. منابع آب زیرزمینی محدود به آب زیرسطحی در آبرفت بستر آبراهه و یا آب سازند سخت (توده‌سنگ‌های درز و شکاف‌دار) است. ضخامت آبرفت در طول بستر آبراهه اصلی از روستای اسلام‌آباد به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد. در خروجی آبخیز مطالعه‌شده تراز سنگ کف بالا آمده و ضخامت آبرفت به حدود ۱۰ متری می‌رسد. در روستای اسلام‌آباد ۵ حلقه چاه کشاورزی ۱ حلقه چاه آب شرب روستا و ۱ حلقه چاه نیز برای آبشخور دام حفر شده است. در پایین‌دست روستای اسلام‌آباد دو رشته قنات به نام قنات محمدآباد و قنات محمودآباد وجود دارد که حدود ۵۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی منطقه را آبیاری می‌کند. خشک‌سالی‌های سال‌های گذشته موجب کاهش شدید آب‌دهی قنات‌های نامبرده شده است (افت سطح آب) و از سال ۱۳۸۷ به بعد نیز کاملاً خشک شده‌اند. در بالادست روستای اسلام‌آباد و در حوالی آبادی بیکهدان نیز دو رشته قنات وجود دارد که هنوز فعال هستند ولی اندازهٔ آب‌دهی آنها در مقایسه با سال‌های گذشته بسیار کاهش‌یافته است.

زمین ساخت محل سد

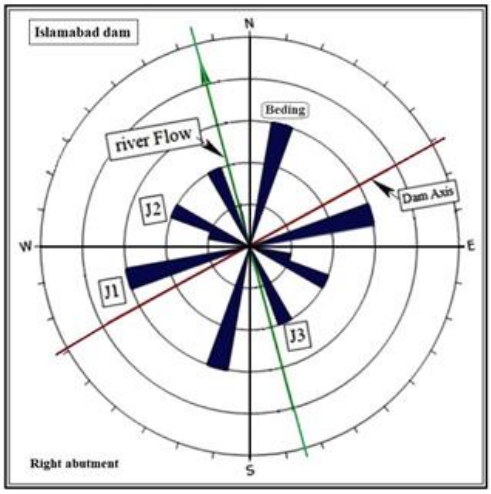
مهمترین عامل زمین‌ساختی در محل ساختگاه سد، سطوح ناپیوستگی از جمله، گسل و ساختارهای درز و شکاف موجود در توده‌سنگ‌ها می‌باشد. باید توجه داشت که درز و شکاف‌های زمین‌ساختی به‌دلیل

گسترش عمقی و سطحی، نقش اساسی در زهکش سطحی و عمقی دارند. درز و شکاف‌های هوازدگی، سطحی است و نقش مهمی در زهکش زیرسطحی ندارند. در این پژوهش، به‌منظور تعیین ویژگی‌های ساختاری و مهندسی توده‌سنگ‌ها و برای برآورد تراوایی و مقاومت سازه‌ای آنها، سنجه‌های مهندسی درزه شامل، شیب، جهت شیب، فاصله‌داری، بازشدگی دهانه و پرشدگی و سطح درزه‌ها بر اساس استاندارد (ISRM، ۱۹۸۱) در ساختگاه سد، تعیین شد. سپس، برای تحلیل، رسم و تفسیر آماری ناپیوستگی‌ها و مشخص شدن دسته درزه‌های غالب (با تراکم بیش از ۱۰٪)، از نرم افزار Dips، و نمودار گلسرخی بهره‌برده شد. بر اساس نتایج تحلیل‌های انجام‌شده و نمودار گلسرخی در تکیه‌گاه راست، سه دسته سطوح ناپیوستگی با دسته درزه‌های اصلی (بیش از ۱۰٪ تراکم)، به‌ترتیب (J1, J2, J3) تشخیص‌داده شد (شکل ۴). ویژگی‌های مهندسی و امتداد، شیب و جهت شیب دسته درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی[1]، در جدول ۱ و ۲، نشان‌داده شده است. بیشترین تراکم درزه‌ها، مربوط به دسته درزه (J1) با امتداد میانگین N072 بود که با محور سد زاویه ۱۰ درجه داشت. درزه‌های فرعی با تراکم کمتر از ۱۰٪ که بیشتر ناشی از هوازدگی و سطحی بودند، نیز مشاهده شد. نتایج تحلیل ویژگی‌های درزه‌ها نشان داد که بیشتر درزه‌ها در این تکیه‌گاه سطح نسبتاً زبر تا صاف داشته و بدون آثار خردشدگی بودند و دهانهٔ بازشدگی آنها میان ۱ تا ۵ میلی‌متر برآورد شد. همچنین، تا حدودی آثار پرشدگی ثانویه مشاهده شد.

وضعیت تکیه‌گاه چپ نیز از دیدگاه درز و شکاف و تراکم و ویژگی‌های مهندسی آنها، بررسی شد. با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده و نمودار گلسرخی در تکیه‌گاه چپ، دو دسته سطوح ناپیوستگی با دسته درزه‌های اصلی (بیش از ۱۰٪ تراکم)، به‌ترتیب (J1, J2) تشخیص‌داده شد (شکل ۵). ویژگی‌های مهندسی و امتداد، شیب و جهت شیب دسته درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی در جدول ۱ و ۲، نشان‌داده شده است. بیشترین تراکم درزه‌ها، مربوط به دسته درزه (J1) با امتداد میانگین N044 بود که با محور سد زاویه ۱۶ درجه داشت. درزه‌های فرعی با تراکم کمتر از ۱۰٪ که بیشتر ناشی از هوازدگی و سطحی بودند، نیز در سطح توده‌سنگ‌های این تکیه‌گاه مشاهده شد. دسته درزه (J3) و لایه‌بندی در تکیه‌گاه راست هم‌راستا با جهت و راستای جریان رود بود و به این دلیل به‌منظور فرار آب باید بیشتر بررسی شود.

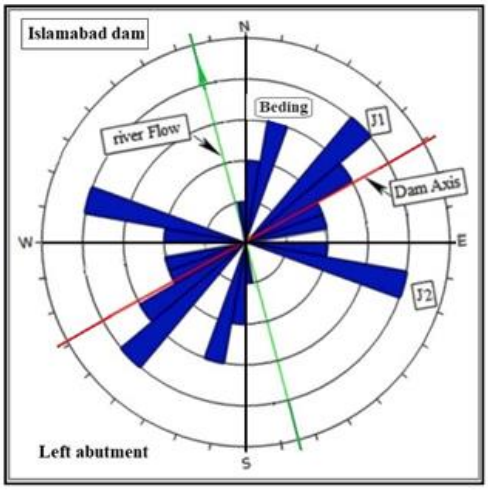
بیشتر درزه‌ها در این تکیه‌گاه سطح زبر تا نسبتاً زبر داشته و بدون آثار خردشدگی بودند. از دیدگاه بازشدگی دهانه، بیشتر بسته بودند و دهانهٔ بازشدگی آنها کم (کمتر از ۲ میلی‌متر) برآورد شد. همچنین، تا حدودی آثار پرشدگی و هماتیتی‌شده (آثار هوازدگی) در درزه‌ها مشاهده شد. نتایج تحلیل ویژگی‌های مهندسی دسته درزه‌ها نشان داد که احتمال فرار آب و آبگذری پی و تکیه‌گاه‌ها در محل ساختگاه سد، نسبتاً کم بود. اما، خطر فرار آب در تکیه‌گاه راست بیش از تکیه‌گاه چپ برآورد شد.

1- Bedding



شکل ۴- نمودار گلسرخی سطوح ناپیوستگی تکیه‌گاه راست.

Figure 4- The red flower diagram of the right abutment discontinuity.



شکل ۵- نمودار گل‌رخی سطوح ناپیوستگی تکیه‌گاه چپ.

Figure 5- The red flower diagram of the left abutment discontinuity.

جدول ۱- ویژگی‌های مهندسی سطوح ناپیوستگی در تکیه‌گاه‌های سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 1- Engineering characteristics of discontinuity in the Islamabad underground dam in the Islamabad.

Abutment	Joint set	Aperture (cm)	Spacing (cm)	Roughness	Infill material
Left	J1	0.00–0.2	15–24	Rough	Clean
	J2	0.00–0.1	20–30	Rough	Fine soil
	Bed.	--------	--------	--------	--------
Right	J1	0.1–0.5	20–30	Rough	Clean
	J2	0.1–0.3	10–15	Mod. rough	Clean
	J3	0.00–0.3	15–40	Sligh. rough	Fine soil
	Bed.	--------	--------	--------	--------

جدول ۲- موقعیت فضایی (امتداد و شیب) سطوح ناپیوستگی در تکیه‌گاه‌های سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 2- Spatial location (azimuth and slope) of discontinuity in the Islamabad underground dam in the Islamabad.

Abutment	Joint set	azimuth	slope	Slop direction
Left	J1	N044	46	N134
	J2	N106	37	N016
	Bed.	N017	35	N287
Right	J1	N072	58	N162
	J2	N115	37	N016
	J3	N158	42	N068
	Bed.	N017	35	N287

بررسی‌های زیرسطحی، حفاری گمانه و نمونه‌برداری

به‌منظور بررسی زیرسطحی و لایه‌بندی و ویژگی‌های آنها، افزون بر برداشت‌های زمین‌الکتریک، حفاری گمانه، نمونه‌برداری و آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی، انجام شد. هدف از این بررسی‌ها، تعیین ضخامت، لایه‌بندی، نفوذپذیری، تراکم و سنجه‌های مقاومتی آبرفت و تشخیص خردشدگی، آبگذری و ضخامت هوازده سنگ کف و وضعیت آب زیرسطحی بود. مکان دقیق گمانه‌ها، پس از مشخص شدن محدوده محور و آبگیر سد، بر اساس نقشه سنگ کف ارائه شده

به‌وسیلهٔ گروه مطالعات زمین‌فیزیک، با توجه به موقعیت سنگ بستر و هندسه بستر آبراهه، تعیین شد. مشخصات گمانه‌های حفاری‌شده در جدول ۳، نشان‌داده شده است.

جدول ۳- مشخصات گمانه‌های اکتشافی در محل ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 3- specifications of exploratory boreholes at the construction site of the underground dam in the Islamabad.

Thikness of weathered rock (m)	Depth of bedrock (m)	Hight (m)	(UTM) Cordinate		Depth (m)	Borehole
			x	y		
--	--	1945	78984	3315072	7	BH1
--	--	1943	748935	3315059	10	BH2
1.5	9.5	1941	748633	3314949	15	BH3
1	8	1934	748442	3314955	12.5	BH4
2.5	7	1935	748416	3314924	12.5	BH5
--	--	1936	748402	3315002	7	BH6

نتایج و بحث

مکان‌یابی و موفقیت سد زیرزمینی وابسته به دو عامل، وجود آب با کیفیت و وجود قابلیت ذخیره‌سازی آب است. بیشترین معیارها و شرایطی که قابلیت ذخیره‌سازی آب را در یک ساختگاه مشخص می‌کند، عامل‌ها و ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی است. ازاین‌رو، بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه برای ارزیابی قابلیت ذخیره‌سازی آب، بسیار مهم و حیاتی و تعیین‌کننده است. نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی منطقه‌ای و محلی، نقش مهمی در برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و انتخاب ساختگاه و شیوهٔ بهره‌برداری سد زیرزمینی دارند.

بررسی زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد

محل محور در نظر گرفته‌شده برای ساخت سد زیرزمینی در میان دو تپه آهکی بود. بازشدگی و پهنای دره در محل جایگاه حدود ۱۰۰ متر بود. شیب تقریبی بستر آبراهه نیز یک درصد بود. در تکیه‌گاه چپ، دو بخش آهکی جدا از هم بودند و در تکیه‌گاه راست نیز آهک‌ها به‌شکل برونزدگی مشاهده شدند. در ساختگاه سد، چین‌خوردگی و یا شکستگی بزرگی در حد گسل مشاهده نشد. ساختار قابل بررسی در محل جایگاه، فقط دسته درزه‌ها بودند. با بررسی نتایج آزمایش‌های انجام‌شده روی نمونه‌های توده‌سنگ (سطحی و مغزه‌های حفاری) و ویژگی‌های مهندسی دسته درزه‌ها، طبقه‌بندی زمین‌سازه‌ای توده‌سنگ‌ها انجام شد. مقاومت فشارشی تک محوری توده‌سنگ‌ها در هر دو تکیه‌گاه، بیش از ۱۵۰ مگاپاسکال به‌دست آمد. بر مبنای بررسی مغزه‌های حفاری و همچنین، تراکم درزه‌ها در واحد سطح توده‌سنگ‌ها، اندازهٔ کیفیت توده‌سنگ (RQD)، برای آهک‌های بخش غربی و شرقی تکیه‌گاه چپ، ۸۰ تا ۹۰٪ و برای آهک‌های تکیه‌گاه راست نیز، حدود ۸۰٪ برآورد شد. میانگین فاصله درزه‌ها و سطوح ناپیوستگی در سطح توده‌سنگ، در تکیه‌گاه راست و آهک‌های بخش غربی و شرقی تکیه‌گاه چپ به‌ترتیب ۵/ . و ۰/۴ متر بود. بر اساس نتایج بررسی ویژگی‌های دسته درزه‌ها و از دیدگاه امتداد، شیب و اندازهٔ دهانه و پرشدگی و سطح درزه که توضیح داده شد، رده‌بندی توده‌سنگ‌های ساختگاه سد زیرزمینی بر اساس سامانهٔ (RMR) انجام شد. چکیدهٔ رده‌بندی (RMR) در جدول ۴ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج این جدول و بر اساس موقعیت محور سد با جهت و امتداد دسته درزه غالب در تکیه‌گاه‌های راست و چپ، ضریب تعدیل برای هریک از دو تکیه‌گاه به‌ترتیب برابر امتیاز ۷- و ۱۵-، محاسبه شد. بر اساس امتیاز نهایی محاسبه‌شده برای (RMR) در دو تکیه‌گاه، توده‌سنگ‌های پی و تکیه‌گاه‌ها از دیدگاه پایداری و مقاومت زمین‌سازه‌ای، در ردهٔ سنگ‌های خوب طبقه‌بندی شدند. نتایج بررسی شدت و تراکم درزه‌داری، جهت شیب سطوح ناپیوستگی و شیب دامنه در تکیه‌گاه‌ها در محدوده ساختگاه نشان داد که احتمال رخداد لغزش و ایجاد شرایط بحرانی، بسیار کم است. با توجه به بازشدگی

دهانه درزه‌ها و اندازهٔ پرشدگی و تراکم درزه‌ها، برآورد شد آبگذری و فرار آب از دسته درزه‌های نسبتاً کم تا متوسط، رخ می‌دهد.

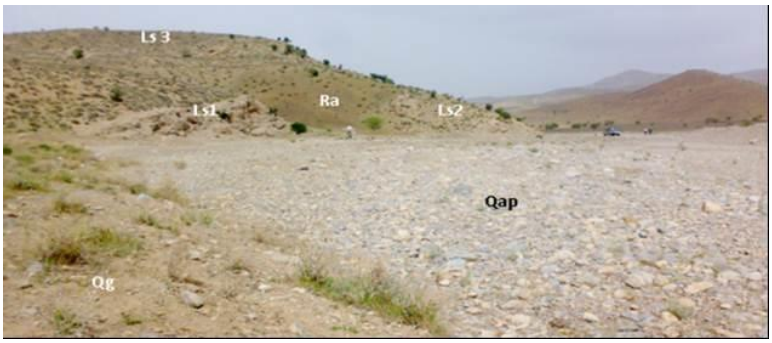
جدول ۴- رده‌بندی توده‌سنگ‌های ساختگاه سد زیرزمینی بر اساس سامانهٔ (RMR).

Table 4- Classification of underground dam construction rocks based on system (RMR).

Parameter	Right abutment		Left abutment	
	Score	quantity	Score	quantity
Uniaxial compressive strength (Mpa)	10	100 – 250	10	100 – 250
Rock quality index (RQD) (%)	15	75 – 90	15	75 – 90
state of discontinuity	10	Smooth surface, little filling, Opening aperture(1-5 mm)	25	Rough surface, Small aperture, A little weathered
Spacing discontunity (Cm)	10	20 – 60	10	15 – 55
Wet	15	Dry	15	Dry
Score adjustment (Joint set orientation)	- 7	Moderately good	- 15	Unfavorable
Sum Score		53		60
Rock group		III		III
Description of therockmass		Suitable rockmass		Suitable rockmass

سنگ کف

ویژگی‌های سنگ کف از دیدگاه جنس، ژرفای هوازدگی، اندازهٔ خردشدگی و درزه‌داری، از عامل‌های بسیار مهم در برآورد ذخیره‌سازی آب در آبگیر و همچنین، طراحی و اجرای سد زیرزمینی است. بر اساس گزارش زمین‌فیزیک سد اسلام‌آباد، مقاومت الکتریکی سنگ کف ۱۱۶ تا ۷۷۰ اهم متر گزارش‌شده است. همچنین با توجه به داده‌های به‌دست آمده از حفاری گمانه‌ها، مشخص شد که جنس سنگ کف در محل حفر گمانه‌ها، آهکی است. نتایج حفاری گمانه‌ها نشان داد که برداشت‌های زمین‌الکتریک، وضعیت و جنس توده‌سنگ‌های رخنمون‌یافته در دو سوی آبراهه و شیب دامنه‌ها، سنگ کف در محدوده محور و آبگیر سد زیرزمینی اسلام‌آباد، شامل سنگ‌های آهکی با میان‌لایه‌های مارنی است. نمایی از ساختگاه سد و دانه‌بندی آبرفت بستر و برخی ویژگی‌های مشاهده‌ای زمین‌شناسی مهندسی جایگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد در شکل ۶ نشان‌داده شده است.



شکل ۶ - نمایی از ساختگاه سد و دانه‌بندی آبرفت بستر.

Figure 6- A view of the dam construction and bed alluvium granulation.

دانه بندی آبرفت بستر

نتایج آزمایش دانه‌بندی و چگالی‌سنجی، تعیین حدود اتربرگ و مقاومت برشی (چسبندگی و اصطکاک داخلی) روی نمونه‌های‌های آبرفت از ژرفاهای گوناگون گمانه‌های BH1، BH2 و BH6 در جدول ۵ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از نمونه‌برداری از ژرفاهای گوناگون در حفاری، ضخامت آبرفت در محدوده ساختگاه سد میان ۶ تا ۸ متر متغیر بود. همچنین، نتایج دانه‌بندی خاک سطحی نشان داد که حدود ۱ تا ۱/۵ متر اولیه خاک شسته‌شده است و بافت آن درشت‌دانه و مابقی ضخامت آبرفت از شن و ماسه و یا ماسه و شن با درصدی ریزدانه تشکیل‌شده است که با افزایش ژرفا به درصد ریزدانه و تراکم خاک افزوده می‌شود. افزون بر این، بر اساس نتایج آزمایش دانه‌بندی، چگالی‌سنجی و تعیین حدود اتربرگ، لایه‌های خاک طبقه‌بندی شد. بررسی آماری طبقه‌بندی خاک و میانگین درصد عبورداده شده از الک شماره ۲۰۰ در تمام نمونه‌های گمانه‌ها در جدول ۶، ارائه‌شده است.

جدول ۵- نتایج آزمایش دانه‌بندی در محل سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 5- Results of granulation test at the underground dam in the Islamabad.

Borehole	Depth (m)	Grading name	Grading (USCS)[2]	Depth (m)	Liquid limit (%)LL	Plasticity limit (%)PL	Plasticity index (%)PI
BH1	0-2	Manual soil	-	5	27	6	21
	2-7	Clay sand and Gravel	SC[3]				
BH2	0-2	Manual soil	-	6	32	14	18
	2-5	Gravel with bad maturity and sand and clay	GP[4]-GC[5]				
	5-8	Clay Gravel and sand	GC				
BH3	0-1	Manual soil	SC	6.5	41	19	22
	1-3	Clay sand and Gravel	GC				
	3-7.5	Clay Gravel and sand	GC				
BH4	0-1	Manual soil	-	5.5	30	13	17
	1-3	Clay sand and Gravel	SC				
	3-5	Clay Gravel and sand	GC				
	5-6.5	Clay sand	SC				
BH5	0-1	Manual soil	-	5	22	7	15
	1-4	Silty Gravel and sand	GS[6]				
	4-6	Clay Gravel and sand	GC				
BH6	0-2		-	5	30	13	13
	2-7	Clay Gravel and sand	GC				

2- Unified Soil Classification System
3- Clay Sand
4- Poorly Graded Gravel
5- Clay Gravel
6- Silty Gravel

به‌منظور بررسی آبرفت ساختگاه سد از دیدگاه مقاومت برشی و پایداری در مراحل گودبرداری، آزمایش برش مستقیم روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج این آزمایش روی نمونه‌های بازسازی‌شده آبرفت بستر در ژرفاهای گوناگون در جدول ۷ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج این جدول چسبندگی آبرفت میان ۰/۰۳ تا ۰/۳ (kg/cm^2) و اصطکاک داخلی میان ۲۸ تا ۳۹ درجه، متغیر بود. نتایج بیانگر درشت‌دانه بودن خاک بود. نتایج سنجه‌های مقاومت برشی بیانگر پایداری مناسب خاک در گودبرداری و نشست بود.

جدول ۶ - نتایج دانه‌بندی و رده‌های خاک در محل سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 6- Results of grading and soil categories at the underground dam in the Islamabad.

Borehole	Depth (m)	Classification of layers (Alluvium / Bedrock)				The average percentage rejected from mesh (200)
BH1	7	SC-SM[7]		SC		29.4
		80%		20%		
BH2	10	GP-GC	GC	marl	Limestone	15
		37.5%	37.5%	12.5%	12.5%	
BH3	15	SC	GC	Weathered rock	Limestone	23.1
		14.3%	32.2%	12.8%	40.7%	
BH4	12.5	SC		GC	Lime stone	22
		30.4%		17.4%	52.2%	
BH5	12.5	GM		GC	Limestone	16.6
		26%		17%	57%	
BH6	5	GC				18
		100%				

7- Silty Sand

جدول ۷- نتایج آزمایش برش مستقیم روی برخی نمونه‌های محل سد.

Table 7- results of direct cutting test performed on some samples of the dam site.

Borehole	Depth sample (m)	(cm) Sample	Sample type	Fast/Slow	Internalfriction angle (degree) ϕ	Cohesion C (kg/cm^2)
BH1	2.5-3.0	10×10	remolded	slow	33	0.20
	6.5-70	10×10	remolded	fast	31	0.25
BH2	2.0-3.0	30×30	remolded	slow	37	0.04
BH3	1.0-2.0	10×10	remolded	slow	32	0.20
	6.0-7.0	30×30	remolded	fast	36	0.06
BH4	1.0-2.0	10×10	remolded	slow	30	0.28
	3.0-4.0	30×30	remolded	slow	28	0.03
	5.0-6.0	10×10	remolded	fast	30	0.30
BH5	1.0-2.0	30×30	remolded	slow	39	0.03
	4.0-5.0	30×30	remolded	fast	36	0.06
BH6	5.0-6.0	30×30	remolded	fast	37	0.05

آزمایش‌های برجا و درون چاهی

به‌منظور بررسی‌های زیرسطحی، آزمایش‌های نفوذپذیری با روش لوفران و نفوذ مخروط استاندارد (CPT) انجام شد و نمونه‌برداری در هر تغییر دانه‌بندی در گمانه‌های حفاری‌شده نیز انجام شد. نتایج تعداد ضربات برای نفوذ مخروط استاندارد و محاسبهٔ تعداد ضربات اصلاحی برای تمام گمانه‌ها و در تمام لایه‌ها، بیش از ۵۰ ضربه به‌دست آمد. این نتایج بیانگر آن بود که آبرفت بستر درشت‌دانه و بسیار متراکم است و از دیدگاه تراکم و پایداری در دسته خاک‌های خوب و مناسب طبقه‌بندی شد. نتایج آزمایش نفوذپذیری لوفران با هر دو روش (بار افتان و بار ثابت) در قطعه‌های با طول گوناگون در جایگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد و در ژرفاهای گوناگون آبرفت بستر در جدول ۸ ارائه‌شده است. نتایج لوفران و نتایج آزمایش نفوذ مخروط استاندارد بیانگر آن بود که نفوذپذیری آبرفت بستر به‌دلیل تراکم و اندازهٔ احتمالی ماتریس در بدنه آبرفت، از متوسط تا نسبتاً کم (حدودا $۱۰^{-۴}$ سانتی‌متر بر ثانیه) متغیر است. به‌منظور برآورد آبگذری توده‌سنگ بستر، در ضخامت اولیه سنگ کف بعد از ۱ متر نفوذ در سنگ، آزمایش نفوذپذیری با روش لوفران در سنگ خردشده انجام شد. نتایج این آزمایش نیز در جدول ۸ ارائه‌شده است.

جدول ۸- نتایج آزمایش نفوذپذیری در محل سد.

Table 8- Results of permeability test at the dam site.

Borehole	Depth (m)	K (cm/s)	
		Constant load	Burden load
BH3	2.0-3.0	2.0×10^{-4}	3.6×10^{-5}
	4.0-5.0	8.7×10^{-5}	3.8×10^{-5}
	9.0-15.0	1.8×10^{-5}	2.4×10^{-6}
BH4	2.0-3.0	4.3×10^{-4}	4.1×10^{-5}
	4.0-5.0	2.5×10^{-4}	5.1×10^{-5}
	7.0-12.5	1.9×10^{-5}	3.8×10^{-6}
BH5	3.0-4.0	2.4×10^{-4}	2.0×10^{-5}
	6.0-10.0	3.5×10^{-4}	5.4×10^{-5}

شیمی آب زیرسطحی

در جدول(۹)، نتایج تجزیه شیمیایی آب زیرسطحی مربوط به میانه ضخامت آبدار گمانه شماره ۶ در محل ساختگاه و آبگیر سد زیرزمینی اسلام‌آباد که به آب زیرسطحی رسیده است مندرج می‌باشد. این آب نسبتاً قلیایی و دارای تیپ بی‌کربناته سدیک می‌باشد.

جدول ۹- نتایج تجزیهٔ شیمیایی آب گمانهٔ BH6 (در محل سد).

Table 9- Results of water chemical analysis of BH6 borehole (in the dam site).

Anion / Cation (mg/l)						Soluble solutes(mg/l)	Hardness caco3	Acidity	Saltiness (mμ/cm)
$HC0^{-}_{3}$	Cl^{-}	So_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	TDS	TH	pH	EC
360	195	181.5	64.1	92.4	133.8	643	540.6	7.7	150.7

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های محل محور سد (پی و تکیه‌گاه) و آبگیر سد (بستر و مصالح آبگیر) تابع زمین‌شناسی منطقه بود و رفتار این مصالح از دیدگاه پایداری، آب‌بندی و حجم ذخیره و جریان آبی، تابع ویژگی‌های مهندسی و ژئوتکنیکی سازندها و آبرفت موجود بود. درز و شکاف‌ها و گسل‌ها (سطوح ناپیوستگی)، از عامل‌های مهم در فرار آب و نشت بود و از مهمترین عامل‌ها در انتخاب محل سد زیرزمینی و تمهیدات لازم برای آب‌بند کردن ساختگاه، به‌شمار می‌آیند. نتایج درزه‌نگاری و بررسی آماری ویژگی‌های مهندسی دسته درزه‌ها در محل ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد، نشان داد که رفتار توده‌سنگ‌ها در دو سوی بستر، در مقابل تنش‌های زمین‌ساخت منطقه، کمی متفاوت است. این یافته، بیشتر به‌دلیل ضخامت لایه‌بندی، اندازهٔ تراکم و درصد رس در بدنه توده‌سنگ‌های آهکی و تناوب لایه‌های سخت با میان لایه‌های شکل‌پذیر و نسبتاً نرم مارن یاشیل بود. با توجه به تعداد، ویژگی‌ها و تراکم دسته درزه‌ها در دو سوی بستر، توان آبگذری در جناح راست بیش از جناح چپ برآورد شد. بر اساس تحلیل نتایج حدود اتربرگ (حد خمیری و شاخص خمیری) و اندازهٔ چسبندگی خاک‌های محل ساختگاه سد، می‌توان گفت بخش قابل توجهی از ریزدانه‌های آبرفت بستر در رده سیلت است و ویژگی‌های رس‌های موجود در این خاک‌ها نیز، بیشتر شبیه رس‌های گروه کائولینیت و ایلیت است. ازاین‌رو، ظرفیت تورمی و چسبندگی بخش ریزدانه خاک‌ها کم بود. سدیم، کاتیون غالب در ترکیب شیمیایی آب زیرسطحی منطقه بود. ازاین‌رو، می‌توان گفت که درصد سدیم در خاک‌های منطقه نیز، قابل توجه است و این خاک‌ها در ردهٔ خاک‌های واگرا خواهند بود. بر اساس نتایج اندازهٔ تراکم آبرفت بستر مبتنی بر نتایج آزمایش نفوذ مخروط استاندارد و نتایج دانه‌بندی و درصد ریزدانهٔ آبرفت و نتایج آزمایش لوفران و ضخامت کمتر از ۱۰ متر، می‌توان نتیجه گرفت که آبرفت بستر آبراهه ساختگاه، از دیدگاه ضریب ذخیره، حجم ذخیره و آب‌دهی برای ساخت سدزیرزمینی با هدف توسعهٔ منابع آب، در حد متوسط است. ازاین‌رو، بر اساس این یافته‌ها و با توجه به وضعیت آبرفت بستر مناسب‌ترین روش بهره‌برداری از آبگیر، روش زهکش تحتانی با ایجاد زهکش‌هایی در طول آبگیر، پیشنهاد می‌شود و روش پمپاژ درون‌چاهی مناسب نخواهد بود. با توجه به درصد ریزدانه در بدنه آبرفت بستر و شیمی آب زیرسطحی، به‌ویژه اندازهٔ املاح محلول و درصد بی‌کربنات، پیشنهاد می‌شود در زمینه احتمال تغییر ترکیب شیمیایی آب و

افزایش شوری (EC) آن و همچنین، ترسیب و تبلور املاح در میان خلل و فرج آبرفت بستر در اثر ساکن شدن آب زیرسطحی به واسطه ساخت سد زیرزمینی، بررسی و پژوهش‌های بیشتری در آینده انجام شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس که در راستای انجام این پژوهش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است.

مشارکت نویسندگان

علی‌رضا مجیدی: نگارش، تهیه پیش‌نویس اولیه، تحلیل و بررسی، مفهوم‌سازی، روش‌شناسی.

حمید حسینی‌مرندی: بررسی منابع، نرم‌افزار، ویرایش، مصورسازی، نظارت.

فهرست منابع

Adhikari B, Acharya U, Acharya KK, Ghimire S. 2019. Engineering geological investigation of dam site of proposed sunkoshi-2 hydropower project, khurkot area, eastern Nepal. Journal of Nepal Geological Society. pp. 181–188.

Asfaw L, Meten M, Garo T. 2022. Leakage and abutment slope stability analysis of Arjo Didesa dam site, western Ethiopia. Arabian Journal of Geosciences. 15:1540.
Doi: 10. 1007/ s12517- 022- 10827-7

Berhane G, Amare M, Gebreyohannes T, Walraevens K. 2017. Geological and geophysical investigation of water leakage from two micro-dam reservoirs: implications for future site selection, Northern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences. pp. 82–93.
Doi: 10.1016/j. jafre arsci. 2016. 12. 015

Berhane G, Gebreyohannes T, Martens K, Walraevens K. 2016. Overview of micro-dam reservoirs (MDR) in Tigray (Northern Ethiopia): challenges and benefits. Journal of African Earth Sciences. pp. 210–222.
Doi: 10. 1016/j. jafre arsci. 2016. 07. 022

Berhane G, Walraevens K. 2013. Geological challenges in constructing the proposed Geba dam site, northern Ethiopia. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. pp. 339–352.

Sissakian VK, Adamo N, Al-Ansari N. 2020. The role of geological investigations for dam siting: Mosul Dam a Case Study. Geotechnical and Geological Engineering. pp. 2085–2096.

Gurocak Z, Alemdag S. 2012. Assessment of permeability and injection depth at the Atasu dam site (Turkey) based on experimental and numerical analyses. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. pp. 221–229.
Doi: 10. 1007/ s10064- 011- 0400-9

Garo T, Meten M. 2021. Engineering geological characterization for evaluation of seepage and geomechanically properties of Chalchal Dam Site, Bale Zone, Southeastern Ethiopia. Arabian Journal of Geosciences. 14 (23): 25-49.
Doi:10.1007/s12517-021-08881-8

Ichikawa K. 1999. Geological investigation of dams. Proceedings of 2nd Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment, Malaysian National Group, Bangi, Malaysia. pp. 44-57.

Jiang Q, Yan F, Wu J, Fan Q, Li S, Xu DJEG. 2019. Grading opening and shearing deformation of deep outward-dip shear belts inside High Slope (A case study). Engineering Geology Journal. pp. 113-129.

Doi: 10.1016/j.enggeo.2019.01.018

Kotir.H. 2011. Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. Environment, Development and Sustainability. pp. 587–605.

Lyu Z, Chai J, Xu Z, Qin Y, Cao J. 2019. A comprehensive review on reasons for tailings dam failures based on case history. John Wiley and Sons, Inc. Advances in Civil Engineering; New York. 2019. Article ID 4159306. 18 p.
Doi: 10.1155/2019/4159306

Mera GA. 2018. Drought and its impacts in Ethiopia, Weather Clim. Extreme. pp. 24–35.
Doi: 10.1016/j.wace.2018.10.002

Mun K. 2018. Development of a decision support system for dam type and design, and floristic evaluation. Doctoral thesis, University Putra Malaysia. 139 p.

Roy S, Bhalla SK. 2017. Role of geotechnical properties of soil on civil engineering structures. Resources and Environment. 7(4): 103–109.

Serdeczny O, Adams S, Baarsch F, Coumou D, Robinson A, Hare W, Schaeffer M, Perrette M, Reinhardt J. 2017. Climate change impacts in Sub-Saharan Africa: from physical changes to their social repercussions. Regional Environmental Change. pp. 1585–1600.
Doi: 10.1007/s10113-015-0910-2

Tiruneh A.T. 2005. Water quality monitoring in Lake Abaya and Lake Chamo region: A research based on water resources of the Abaya-Chamo Basin-South Ethiopia. Doctoral Thesis. Universität Siegen. 126 p.

Zhang JM, Yang Z, Gao X, Zhang J. 2015. Geotechnical aspects and seismic damage of the 156-m-high Zipingpu concrete-faced rockfill dam following the Ms 8.0 Wenchuan earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. pp. 145–156.
Doi:10.1016/j.soildyn.2015.03.014

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Investigating of the Engineering Geological Features of the Underground Dam Construction in the Islamabad, Fars

Ali Reza Majidi[1*], Hamid Hosseini Marandi[2]

1- Assistant Professor of Hydrology Research and Water Resources Development Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Soil and Watershed Protection 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

Underground dams are water structures that are built to block or divert underground and subsurface flows. The use of this technology is recommended for the management, control, protecting and developing small water resources in arid and semi-arid areas such as Iran. The watershed of the Islamabad Underground Dam, due to its mountainous location, lacks an alluvial groundwater aquifer, and groundwater resources are limited to subsurface water in the alluvial deposits of the streambeds or hard formations water. Therefore, the underground dam is one of the solutions for providing water in such conditions. The engineering geological characteristics of the rock mass and alluvium of the streambeds have a direct impact on the success, safety, and sustainability of underground dam projects. Therefore, in the selection of the dam site, geological and geotechnical investigations and studies are carried out with the aim of determining the geological structures, stratigraphy and lithology of formations, discontinuity and faults, grain size, hydrodynamic characteristics and thickness of bed alluvium, the location and conditions of underground water at the dam site and its reservoir area, in order to estimate the volume of the reservoir and its sealing. The inefficiency and failure of dam projects are often caused by insufficient engineering and geological investigations in the pre-construction stages.

Materials and Methods

The catchment area of the Islamabad Underground Dam is located in Arsanjan County, Fars Province, in the high Zagros zone. The current shape of the basin and the numerous fractures in the study area depends on the characteristics of this zone and are affected by the state of the geological structures of the region.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author's E-mail:** Majidi_geo@yahoo.com

Citation: Majidi, A.R., Hosseni Marandi, H. 2025. Investigating the Engineering Geological Features of the Underground Dam Construction in the Islamabad, Fars. Watershed Management Research. 38(2): 98-117.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.367366.1598

Received: 22 October 2024, **Received in revised form:** 08 December 2024, **Accepted:** 19 December 2024

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No. 2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 98-117.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)

In this research, the hydrological groups of the soil in the watershed were evaluated with the aim of estimating the subsurface water and investigating the geological characteristics of rock mass engineering and bed alluvium at the dam site in order to estimate the volume and storage of water by the underground dam. Therefore, Initially, baseline information related to the region, especially its engineering geology, was collected and based on that, a proposal for the construction of the underground dam was considered. Using the results obtained from boreholes, field sampling, in situ tests, laboratory investigations and geology of the area, the geotechnical status and characteristics of the Islamabad underground dam construction site were investigated and evaluated.

Results and Discussion

In the study area, groundwater resources are limited to subsurface water in the alluvium of the streambed or hard rock formation water (fractured rock mass). At the site of the Islamabad underground dam, the most important geological factors affecting water storage was the condition and density of discontinuity surfaces (such as: faults and existing joint sets in the rock mass, as well as the grain size and density of the underlying alluvium). The result of the engineering fracturing investigations indicates the presence of several categories of fractures in the rock mass of the study area, particularly in the right abutment, with water flow potential. Field surveys and drilling results estimate the thickness of weathered rock at the site to be between 1 to 2 m. The alluvium at the dam site exhibits layering and has a thickness ranging from 6 to 10 m. The initial alluvium foundation, with a thickness of 1 to 1.5 m was coarse-grained, while the remaining thickness of the alluvium consisted of sand and gravel with a percentage of fine particles. The permeability of the alluvium foundation was due to moderate to relatively low compaction (approximately 10-4 cm/s). The cohesion of the alluvium varies between 0.3 and 0.3 (kg/cm^2), and the internal friction angle ranges from 28 to 39 degrees. The results of soil mechanical tests on alluvial samples indicate that the alluvium is coarse-grained, and its shear strength parameters suggest adequate soil stability concerning excavation and settlement.

Conclusion and Suggestions

The results of the fracturing analysis and statistical of the engineering characteristics of fracturing not only reveal the potential for water escape in the right abutment but also indicate that the behavior of the rock masses on the sides of the dam foundation is somewhat different in response to the tectonic stresses of the region. This phenomenon was due to the thickness of the layering, the degree of compaction, and the percentage of clay in the body of the limestone rock masses, as well as the alternation of hard layers with pliable and relatively soft marl or shale interlayers. The results of the engineering classification of the rock mass using the RMR method show that the rock masses at the dam site fall into the category of suitable rocks for construction purposes. The Atterberg limits and the cohesion of the soil at the dam site indicate that the clays present in the alluvial foundation primarily exhibit the characteristics of kaolinite and illite, with limited swelling and cohesion potential. The results of the chemical analysis of the water shows that sodium was dominant cation in the chemical composition of the groundwater in the region. Therefore, this finding indicates the potential for divergence in the fine-grained alluvium foundation. The thickness, density, and grain size of the alluvial foundation, along with the results from the Luferan test, indicated that the alluvial material foundation has moderate quality in terms of storage coefficient, storage volume, and water yield for the construction of an underground dam. Therefore, based on these findings, the most suitable method for utilizing the water catchment is the sub-drainage method by creating drains along the catchment, and the well pumping method would not be appropriate.

Keywords: Alluvium, Lefranc test, rock mass engineering classification, water leakage

Article Type: Research Article
Acknowledgements
The authors would like to thank the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute and the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars Province for their support in conducting this research.
Conflicts of interest
The authors of this article declare that they do not have any conflict of interest in writing and publishing the contents and results of this research.
Data Availability Statement
The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.
Author's Contribution
Ali Reza Majidi: Writing - original draft preparation, Formal analysis and investigation, Conceptualization, methodology
Hamid Hosseini Marandi: Resources, Software, Manuscript editing, Visualization, Supervision

پژوهش‌های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

تحلیل رابطهٔ اجزای بودجه رسوب با سنجه‌های پستی‌بلندی در مقیاس دامنه در زیرآبخیز شاهد معرف- زوجی خامسان

رضا زارعی[۱]، عبدالواحد خالدی‌درویشان[۲*]، محمدرضا زارع[۳]، پائولو پورتو[۴]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۳- استادیار گروه فیزیک، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۴- استاد گروه کشاورزی، دانشگاه مدیترانه رجیو کالابریا، ایتالیا

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

با توجه به اهمیت خاک و وابستگی جوامع بشری به خاک برای تولید غذا در سراسر جهان و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، امروزه یکی از مشکلات مهم و اساسی، فرسایش و نابودی خاک است. میانگین فرسایش خاک در کشور حدود ۱۶/۵ تن در هکتار برآوردشده است و فرسایش خاک در ایران تقریباً معادل ۲ تا ۲/۵ برابر آسیا و ۵ تا ۶ برابر میانگین جهانی است که بیشتر در دامنه‌ها و مناطق شیب‌دار به‌دلیل پوشش گیاهی فقیر رخ می‌دهد. با توجه به پیشرفت و توسعهٔ روش‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوب و از سوی دیگر، هزینه و نبود دقت در روش‌های قدیمی چون استفاده از کرت‌ها و پین‌های فرسایش، امروزه استفاده از رادیونکلوئیدها به‌ویژه سزیم-۱۳۷ برای اندازه‌گیری اندازهٔ فرسایش و رسوب‌گذاری و اجزای بودجه رسوب، بسیار حائز اهمیت است. یکی از مزیت‌های مهم این روش‌ها که به‌ویژه در دهه‌های گذشته پژوهشگران به آن توجه داشته‌اند، امکان اندازه‌گیری توزیع مجدد خاک در اثر فرسایش آبی در دامنه‌ها و آبخیزها و حتی در مقیاس کرت‌های آزمایشگاهی است. برآورد دقیق اجزای بودجه رسوب برای برآورد اندازهٔ فرسایش و بازتوزیع خاک و امکان برنامه‌ریزی برای حفاظت خاک در هر منطقه ضروری است. ازاین‌رو، هدف این پژوهش برآورد اجزای بودجهٔ رسوب در مقیاس دامنه با استفاده از سنجه‌های پستی‌بلندی بود.

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: زراعی، ر.، خالدی‌درویشان، ع.، زارع، م.ر.، پورتو، پ. ۱۴۰۴. تحلیل رابطهٔ اجزای بودجه رسوب با سنجه‌های پستی‌بلندی در مقیاس دامنه در زیرآبخیز شاهد معرف-زوجی خامسان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸ (۲): ۱۳۸- ۱۱۸.
شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2025.367713.1602

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶، **تاریخ بازنگری**: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸، **تاریخ پذیرش**: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار**: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۱۸ تا ۱۳۸.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

© نویسندگان
CC BY

مواد و روش‌ها

به‌دلیل امکان استفاده از نتایج پژوهش‌های پیشین و در دسترس بودن مدل رقومی ارتفاع با دقت مکانی یک متر، به‌وسیلهٔ پهپاد فتوگرامتری، این پژوهش در زیرآبخیز شاهد آبخیز معرف-زوجی خامسان در استان کردستان انجام شد. برای بررسی دقیق اثر زاویه و انحنای شیب بر فرسایش و رسوب‌گذاری، نمونه‌برداری خاک در ۳۱ نقطه در یک شبکه ۲۰۰ متری با روش نظام‌مند-تصادفی و در ۴۸ نقطه روی شش نوار اندازه‌گیری انجام شد. بعد از انجام مراحل آماده‌سازی نمونه‌های خاک شامل هواخشک کردن، خشک‌کن انجمادی و عبور از الک ۶۳ میکرون، ۲۹۳ گرم خاک درون ظروف مخصوص برای اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ به آزمایشگاه ارسال شد. همچنین، نقشه‌های توزیعی سنجه‌های پستی‌بلندی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 استخراج شد. سپس، نقشهٔ توزیعی فرسایش/بازتوزیع خاک با استفاده از نقاط اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ و رهیافت واحدکاری تهیه شد. همچنین، اجزای بودجه رسوب شامل فرسایش کل، رسوب‌گذاری کل، فرسایش خالص و نسبت تحویل رسوب برای تعداد ۱۴ دامنه در زیرآبخیز مطالعه‌شده، محاسبه شد. سپس، به‌منظور بررسی بهنجار بودن داده‌ها در تعداد ۱۴ دامنهٔ بررسی‌شده، از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد و با توجه به بهنجار بودن داده‌ها، همبستگی میان سنجه‌های پستی‌بلندی و اجزای بودجه رسوب در مقیاس دامنه با استفاده از آزمون پیرسون بررسی شد. سرانجام، معادله‌های وایازی برای برآورد اجزای بودجه رسوب با استفاده از سنجه‌های پستی‌بلندی ارائه شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج این پژوهش در ۱۴ دامنهٔ بررسی‌شده، فرسایش ویژه کل میان ۰/۹۳ تا ۷/۵۲ تن در هکتار در سال و رسوب‌گذاری ویژه کل میان ۰/۰۳ تا ۰/۵۱ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. این یافته‌ها بیانگر آن بود که درصد قابل توجهی از فرسایش از دامنه‌ها خارج‌شده است. فرسایش ویژه خالص نیز میان ۰/۷۹ تا ۷/۴۵ تن در هکتار در سال محاسبه شد که بیانگر نسبت تحویل رسوب میان ۰/۸۴ تا ۱/۰۰ برای دامنه‌های بررسی‌شده بود. نتایج این پژوهش نشان داد که رابطهٔ همبستگی میان فرسایش (کل و خالص) و نسبت تحویل رسوب با زاویه شیب، عامل پستی‌بلندی و شاخص توان آبراهه، معنی‌دار و منفی است. این یافته نشان‌دهندهٔ اثر غالب کاربری زمین‌های زراعت دیم بر افزایش فرسایش در شیب‌های کم‌تر و در پایین‌دست دامنه‌ها است و در مناطق بالادست دامنه‌ها اگرچه شیب بیش‌تر بود، اما، به‌دلیل کمتر دست‌خورده‌شدن خاک و کاربری مرتع، فرسایش در کم‌ترین اندازه بود. ازاین‌رو، در این پژوهش، در تفسیر رابطه‌ها و معادله‌های وایازی از نتایج کاربری زمین‌ها و تغییرات آن در نیم‌رخ طولی دامنه‌ها، استفاده شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ناحیه داخلی آبخیز خامسان شامل یک دشت کم‌شیب با کاربری غالب زراعت دیم بود که تا بخش‌هایی از پیرامون دامنه‌های پرشیب، ادامه یافته و مشابه این شرایط در زیرآبخیزها و از جمله زیرآبخیز شاهد نیز مشاهده شد. شرایط تغییرات کاربری زمین‌ها از بالادست تا پائین‌دست دامنه‌های پیرامون زمین‌های دیم، نسبتاً مشابه بود. ازاین‌رو، معادله‌های وایازی ارائه‌شده در این پژوهش قابلیت استفاده در دامنه‌های آبخیز معرف-زوجی خامسان و نیز دیگر آبخیزهای مشابه را دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود سنجه‌های پستی‌بلندی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با دقت‌های مکانی گوناگون استخراج شود و در برآوردها استفاده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود با توجه به نقش مهم کاربری زمین در تولید فرسایش و رسوب، طرح آمایش سرزمین در منطقه مطالعه‌شده انجام شود و بر اساس توان هر بخش، اصلاح و تغییرکاربری زمین انجام شود.

واژگان کلیدی

انحنای شیب، بازتوزیع خاک، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، فرسایش خالص، نسبت تحویل رسوب

مقدمه

یکی از مشکلات مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک در سراسر جهان و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، نابودی و فرسایش خاک است (صادقی و همکاران ۲۰۱۸، زارعی و خالدی ۲۰۲۰) که در ۵۰ الی ۶۰ سال گذشته به‌شکل قابل توجهی افزایش افته است (نصرتی و همکاران ۲۰۱۱). میانگین فرسایش خاک در کشور حدود ۱۶/۵ تن در هکتار برآوردشده که بیشتر در دامنه‌ها و مناطق شیب‌دار به‌دلیل پوشش گیاهی فقیر رخ می‌دهد. ازاین‌رو، مدیریت و حفاظت از خاک در این مناطق باید با دقت انجام شود (معاون آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۲۴). از مهم‌ترین نتایج فرسایش خاک می‌توان به کاهش خاک و مواد مغذی در دامنه‌ها و انباشت رسوبات در پایین‌دست آبخیز اشاره کرد که با ضرر و زیان و هزینه‌های زیادی از قبیل لای‌روبی آبگیر سدها، تغییر در کیفیت آب و همچنین تغییر در پوشش گیاهی منطقه همراه است (رجائی و همکاران ۲۰۱۷). ازاین‌رو، حفاظت از خاک و مبارزه با فرسایش و نابودی آن از ضروری‌ترین اقدامات هر کشور در راستای تحقق توسعه پایدار به‌شمار می‌آید (تهوری و پروین ۲۰۱۶). این موضوع نیازمند شناخت عامل‌های مؤثر بر فرسایش و بازتوزیع خاک است. در این راستا، بررسی و اندازه‌گیری دقیق متغیرهای مؤثر بر اندازهٔ فرسایش و رسوب ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای دستیابی به حفاظت از منابع خاک و آب است (رودریگو کامینو و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به پیشرفت و توسعهٔ روش‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوب و از سوی دیگر، هزینه‌بر بودن و نبود دقت کافی در روش‌های قدیمی چون استفاده از کرت و پین‌های فرسایشی، امروزه استفاده از هسته‌های پرتوزای ریزشی[1] به‌ویژه سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ برای اندازه‌گیری فرسایش و رسوب و بودجه‌بندی رسوب استفاده می‌شود (اوارد و همکاران ۲۰۱۶، صدیقی و همکاران ۲۰۲۱، پورتو و همکاران ۲۰۲۲، شاریب و همکاران ۲۰۲۳). در این راستا، صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) در آبخیز خامسان شدت فرسایش و بازتوزیع خاک را بررسی کردند و نمودار بودجه رسوب در مقیاس آبخیز با استفاده از سزیم-۱۳۷ را تهیه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین اندازهٔ فرسایش خالص[2] مربوط به زیرآبخیزهایی با شیب متوسط (کم‌تر از ۲۰٪) بود که این یافته بیانگر نقش کاربری زمین و اثر متقابل آن با افزایش شیب بود. به این دلیل استفاده از فنون منشاءیابی یا ردیابی رسوبات برای تعیین اندازهٔ فرسایش و بازتوزیع خاک به یک روش کلیدی برای تهیه نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب تبدیل‌شده است (کرین و همکاران ۲۰۰۳، صدیقی و همکاران ۲۰۲۱). یکی از مزیت‌های مهم این روش‌ها که به‌ویژه در دهه‌های گذشته پژوهشگران به آن توجه داشته‌اند، موضوع بازتوزیع خاک در اثر فرسایش آبی در دامنه‌ها و آبخیز (ریتچی و ریتچی ۲۰۰۷، افشار و همکاران ۲۰۱۰، زی و همکاران ۲۰۱۸، صدیقی و همکاران ۲۰۲۱) و حتی در مقیاس کرت‌های آزمایشگاهی است (خالدی درویشان و همکاران ۱۴۰۰). سنجه‌های پستی‌بلندی از جمله عامل‌هایی هستند که تأثیر مستقیم بر اندازهٔ فرسایش و رسوب‌گذاری و بازتوزیع خاک دارند (ژیانگ و تلن ۲۰۰۴، صدیقی و همکاران ۲۰۲۱). سنجه‌های پستی‌بلندی شامل شدت و طول شیب، جهت شیب، انحنای نیم‌رخ[3]، انحنای مقطع[4]، انحنای عمومی[5]، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، تجمع جریان[6]، شاخص قدرت جریان[7] و ناهمواری سطحی[8] است که بیش‌تر آنها تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر بافت و تکامل خاک، نفوذ و زهکشی، مواد آلی، اندازهٔ رطوبت و دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارند (ژیانگ و تلن ۲۰۰۴، لی و همکاران ۲۰۱۸). در موضوع بودجه‌بندی رسوب نیز چهار جزء فرسایش کل[9]، رسوب‌گذاری کل[10]، فرسایش

1- Fallout Radionuclides (FRNs)
2- Net Erosion
3- Profile Curvature
4- Plan Curvature
5- General Curvature
6- Flow Accumulation
7- Stream Power Index (SPI)
8- Surface Roughness
9- Total (Gross) Erosion
10- Total Sedimentation

خالص و نسبت تحویل رسوب[11] مطرح است که به‌شکل زیر تعریف می‌شوند:

فرسایش کل: کل فرسایش رخ‌دادهٔ خاک در دامنهٔ مد نظر برابر با مساحت بخش فرسایش‌یافته دامنه ضرب در میانگین فرسایش.

رسوب‌گذاری کل: کل رسوب‌گذاری رخ‌داده در دامنه مد نظر برابر با مساحت بخش رسوب‌گذاری‌شدهٔ دامنه ضرب در میانگین رسوب‌گذاری.

فرسایش خالص: بخشی از فرسایش کل که از دامنه خارج می‌شود برابر با فرسایش کل منهای رسوب‌گذاری کل.

نسبت تحویل رسوب: نسبتی از فرسایش که از دامنه خارج می‌شود برابر با فرسایش خالص تقسیم بر فرسایش کل.

اندازه‌گیری فرسایش کل، رسوب‌گذاری کل، فرسایش خالص و نسبت تحویل رسوب اهمیت زیادی در فرسایش و رسوب دارد. از آنجایی که اندازه‌گیری مستقیم فرسایش و رسوب واقعی آبخیز در روی زمین بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و در این شرایط تعمیم آن به مناطق بزرگتر همواره با مشکلات مواجه است، در این میان برآورد اندازهٔ تلفات خاک برای آبخیزها با مدل‌سازی همواره مورد توجه کارشناسان بوده است. با توجه به اینکه بیشتر مدل‌های استفاده‌شده در فرسایش خاک، روش‌های تجربی از نوع جعبه خاکستری است (لیو و همکاران ۲۰۰۵)، پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که مدل‌های قدیمی کارایی چندانی ندارند. ازاین‌رو، به‌تدریج تحلیل‌های تجربی جای خود را به حل معادله‌های دیفرانسیل داد (صمدزاده و پورمحمد ۲۰۱۸). در این راستا، برای اولین بار مدل فرسایش مورگان و مورگان- فینی[12] در سال ۱۹۸۴ به‌وسیلهٔ مورگان و مورگان – فینی ارائه شد (مورگان و همکاران ۱۹۸۴). این مدل در مقایسه با مدل جهانی فرسایش خاک[13] پایه فیزیکی قوی‌تری دارد. شرستا (۲۰۱۰) در آبخیز جی‌خوخولا در نپال با استفاده از مدل مورگان و مورگان- فینی اندازهٔ هدررفت خاک را در زمین‌های دیم، آبی و جنگل به‌ترتیب برابر ۳۲/۵، ۰/۹ و ۰/۱-۰/۴ تن در هکتار برآورد کرد.

صمدزاده و پورمحمد (۲۰۱۸) نیز در مدل‌سازی فرسایش خاک در آبخیز گزازچای خلخال با استفاده از مدل مورگان و مورگان- فینی اندازهٔ میانگین فرسایش سالانه آبخیز نامبرده را بر حسب تن در هکتار برابر ۰/۸۲ به‌دست آوردند و در این میان بیش‌ترین اندازهٔ تلفات خاک در مقایسه با دیگر واحدها مربوط به کاربری زراعت دیم (۰/۸۲ تن در هکتار بر سال) بود. صدیقی و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که در آبخیز معرف- زوجی خامسان بیش‌ترین و کم‌ترین اندازهٔ فرسایش خاک به‌ترتیب مربوط به کشاورزی دیم (۱۱/۴۶ تن در هکتار بر سال) و مرتع (۱/۲۷ تن در هکتار بر سال) در طبقهٔ شیب به‌ترتیب ۳۰-۲۰٪ و بیش از ۶۰٪ بود. افزون بر این، بیشترین توزیع مجدد رسوب مربوط به کشاورزی دیم (۵/۷۸ تن در هکتار بر سال) و مرتع (۰/۸۹ تن در هکتار بر سال) به‌ترتیب در طبقهٔ شیب ۶۰-۳۰٪ و بیش از ۶۰٪ بود. همچنین، نسبت تحویل رسوب که از اجزای بودجه رسوب است یکی از معیارهای مهم استفاده‌شده در تبدیل اندازهٔ فرسایش خاک و تولید رسوب به یکدیگر بود که در بسیاری از شرایط زمینه‌ساز استفاده بهینه از منابع گوناگون است. آگاهی از روش مناسب محاسبه نسبت تحویل رسوب در آبخیزها اهمیت ویژه‌ای در موضوع حفاظت خاک و آبخیزداری به‌ویژه برآورد فرسایش و رسوب دارد (فرهودی و همکاران ۲۰۱۵). همچنین، نسبت تحویل رسوب برای بیان اندازهٔ فرسایش و رسوب تولیدشده و اندازهٔ رسوب حمل‌شده به خروجی آبخیز، اهمیت فراوان دارد. نسبت تحویل رسوب تحت تأثیر عامل‌هایی چون توان تولید رسوب آبخیز، پستی‌بلندی آبخیز، مساحت آبخیز و بسیاری از عامل‌های دیگر است (پارک و همکاران ۲۰۱۰). همچنین، مدل‌سازی‌های پرشماری در زمینهٔ نسبت تحویل رسوب که از اجزای بودجه رسوب است، به‌وسیلهٔ پژوهشگران در سال‌های گذشته انجام‌شده است. در این راستا، بیات و مرادی (۲۰۱۴) دو گروه از مدل‌های برآورد یا محاسبه نسبت تحویل رسوب در آبخیز کورسر نوشهر با اقلیم معتدل مرطوب را ارزیابی کردند و دریافتند که مدل‌هایی که در آن‌ها

11- Sediment Delivery Ratio (SDR)
12- Morgan and Morgan-Finney Models
13- Universal Soil Loss Equation (USLE)

به جای عامل‌های مساحت، طول آبراهه اصلی و میانگین بلندی آبخیز از سطح دریا لحاظ‌شده است، مدل‌های مناسب‌تری بودند.

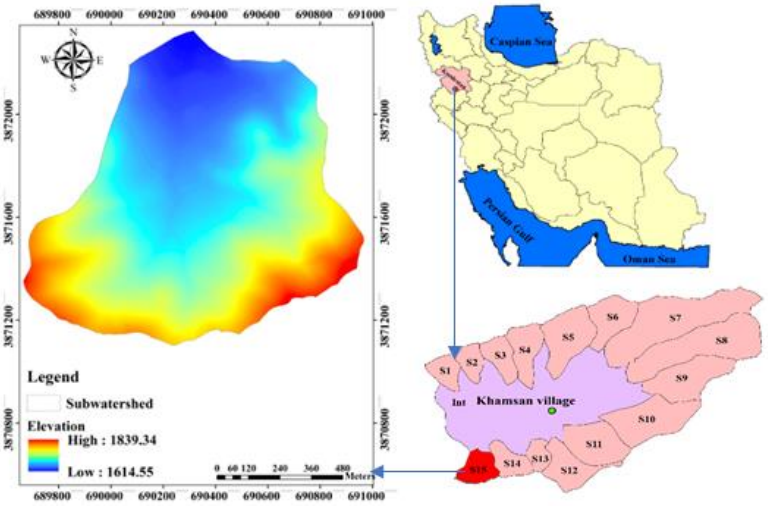
دستیابی به نتایج دقیق از اندازه‌گیری حرکت و بازتوزیع خاک و بودجه‌بندی رسوب در امتداد دامنه با استفاده از مدل‌های تجربی و یا اندازه‌گیری‌های میدانی از قبیل کرت و پین فرسایشی به‌دلیل پستی‌بلندی و دیگر شرایط، دشوار و هزینه‌بر است. از سوی دیگر، بیشتر رویکردهای استفاده‌شده برای برآورد هدررفت خاک و فرسایش به‌دلیل پیچیدگی فرآیندهای حمل و رسوب و رابطهٔ متقابل آنها با ویژگی‌های آبخیز (پستی‌بلندی)، الگوهای مکانی بازتوزیع خاک را ارائه نمی‌دهند (ساک و همکاران ۲۰۰۸). وجود رابطه‌های پیچیده میان پستی‌بلندی و فرسایش و بازتوزیع خاک و دوسویه بودن این رابطه‌ها، سبب پیچیدگی بیشتر موضوع شده است و به این دلیل پژوهشگران در شرایط گوناگون نتایج کم و بیش متناقضی در این رابطه‌ها ارائه کرده‌اند. انجام پژوهش‌های تکمیلی و دقیق‌تر در این رابطه‌ها نیازمند استفاده از نقشه‌های توزیعی با دقت مکانی زیاد برای عامل‌های گوناگون پستی‌بلندی است که با نقشهٔ توزیعی فرسایش و بازتوزیع خاک در مقیاس متناسب مقایسه شوند. به این دلیل استخراج نقشه‌های توزیعی فرسایش و رسوب از مدل رقومی ارتفاع[۱۴] (لی و همکاران ۲۰۱۸) با دقت زیاد (اندازه پیکسل یک متر) و هزینهٔ کم سبب‌شده که بتوان در کم‌ترین زمان ممکن با دقت زیادی اندازهٔ فرسایش و رسوب منطقه را برآورد کرد. این یافته ضرورت دستیابی به نقشه‌های توزیعی فرسایش، رسوب و برآورد اجزای بودجه رسوب را با استفاده از متغیرهای مبتنی بر پستی‌بلندی نشان می‌دهد. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف برآورد اجزای بودجه رسوب در مقیاس دامنه با استفاده از سنجه‌های پستی‌بلندی تهیه‌شده از مدل رقومی ارتفاع با دقت یک متر در آبخیز معرف خامسان انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

در این پژوهش، زیرآبخیزی در بخش انتهایی جنوب‌غربی آبخیز معرف-زوجی خامسان به نام زیرآبخیز شاهد با مساحت ۱۰۲/۱۴ هکتار انتخاب شد. میانگین شیب این زیرآبخیز ۲۶/۴٪ و میانگین بلندی آن از سطح دریا ۱۷۰۷ متر است. در این زیرآبخیز هیچ‌گونه عملیات حفاظت خاک و آب انجام نشده است و چرای دام در آن به‌شکل آزاد انجام می‌شود. ازاین‌رو، به‌عنوان شاهد شرایط اصلی منطقه مد نظر است و برای مقایسه اقدامات آبخیزداری با زیرآبخیز نمونه، استفاده شد. موقعیت آبخیز معرف خامسان و زیرآبخیز مطالعه‌شده (شاهد) در شکل ۱ نشان‌داده شده است. چون این آبخیز یکی از آبخیزهای معرف-زوجی کشور است، ازاین‌رو، داده‌ها و نتایجی که از این پژوهش به‌دست آمد قابل تعمیم به آبخیزهایی است که از نظر شرایط پستی‌بلندی، آب و هواشناسی و کاربری زمین در بخش‌های وسیعی از غرب کشور به این آبخیز شباهت دارند.

14- Digital Elevation Model (DEM)



شکل ۱- موقعیت زیرآبخیز مطالعه‌شده در آبخیز معرف خامسان، استان کردستان.

Figure 1- Location of the study sub-watershed in Khamsan representative watershed, Kurdistan.

انتخاب منطقه مرجع

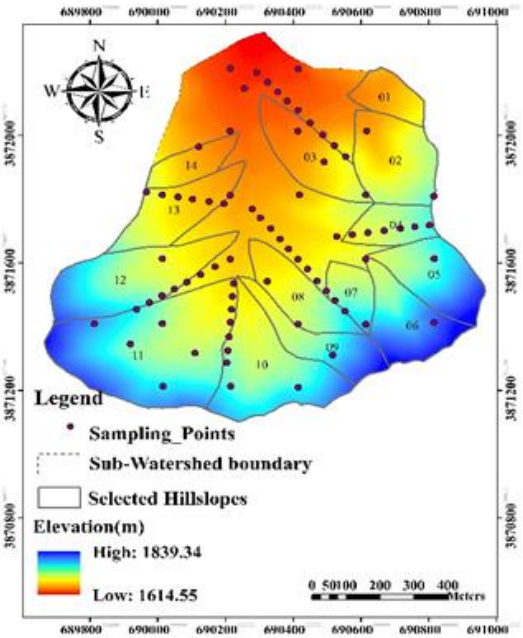
نخستین گام برای اندازه‌گیری فرسایش خاک با استفاده از سزیم-۱۳۷ تعیین منطقه مرجع است و اندازهٔ موجودیت سزیم-۱۳۷ در منطقه مرجع یک سنجهٔ اساسی برای ارزیابی کیفی اندازهٔ بازتوزیع خاک است (لوگران و همکاران۲۰۰۲، صدیقی و همکاران ۲۰۲۰). مکان‌های مرجع از آغاز ورود رادیوایزووتوپ‌ها به خاک تا زمانی که نمونه‌برداری می‌شود کم‌تر تحت تأثیر فعالیت‌های نابودگر انسانی بوده، از فرآیندهای شدید فرسایش و رسوب نیز تأثیر نمی‌گیرند و به جز واپاشی طبیعی، تغییر اندازهٔ سزیم-۱۳۷ در این مکان‌ها ناچیز است (زاپاتا ۲۰۰۲). ازاین‌رو، اندازهٔ سزیم-۱۳۷ موجود در نقاط مرجع بیانگر کل سزیم-۱۳۷ ریزشی در منطقه از شروع انجام آزمایش‌های هسته‌ای تا زمان نمونه‌برداری است (زاپاتا ۲۰۰۲، آرتا و همکاران ۲۰۱۶). از آنجایی که باید به معرف بودن نمونه‌های خاک و تغییرپذیری نمونه‌برداری در منطقه مرجع، توجه کرد و تا حد امکان پیرامون و نزدیک منطقه نمونه‌برداری باشد و از نظر بلندی نیز مشابه منطقهٔ پژوهش باشد، معمولاً مناطق حفاظت‌شده (پارک‌ها و گورستان‌ها) را به‌عنوان منطقه مرجع انتخاب می‌کنند. در این پژوهش نیز نقاط مرجع مبتنی بر نتایج پژوهش انجام‌شده به‌وسیلهٔ صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) در آبخیز خامسان، انتخاب شدند و قبرستان قدیمی روستاهای موچش و قورق به‌عنوان نقاط مرجع تعیین و استفاده شد. بر پایهٔ پژوهش‌های صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) در ۱۲ نقطه در ژرفاهای گوناگون ۳-۰، ۶-۳، ۱۰-۶، ۱۵-۱۰، ۲۰-۱۵ و ۲۵-۲۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک انجام شد و اندازهٔ سزیم-۱۳۷ نقاط مرجع اندازه‌گیری شد. با توجه به ضریب تغییرات کم‌تر از ۲۰٪ میان نقاط مرجع، محاسبات و صحت مرجع بودن این نقاط تأیید شد. ازاین‌رو، این نقاط به‌عنوان نقاط مرجع انتخاب شدند و از آنجایی که فاصله زمانی میان پژوهش صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) و این پژوهش کم بود، از نتایج منطقهٔ مرجع این پژوهشگران در این پژوهش استفاده شد.

تعیین نقاط نمونه‌برداری خاک در زیرآبخیز

برای تعیین محل نقاط نمونه‌برداری خاک از نرم‌افزار گوگل‌ارث استفاده شد (لی و همکاران ۲۰۱۸، صدیقی و همکاران ۲۰۲۰). در این پژوهش، ۳۱ نقطه نمونه‌برداری در یک شبکهٔ ۲۰۰ متری با روش نظام‌مند-تصادفی برداشت شد و دلیل این نوع نمونه‌برداری بررسی اثر شیب برای اندازه‌گیری دقیق فرسایش و رسوب‌گذاری در آبخیز بود (والینگ و همکاران ۲۰۱۴). همچنین، ۴۸ نقطه روی شش نوار اندازه‌گیری با فاصله ۵۰ متر برای امکان تحلیل اثر انحنای شیب برداشت شد (شکل ۲). نمونه‌های خاک با استفاده از روش نمونه‌برداری فله‌ای (مخلوط یا

یکپارچه)[15] به‌وسیلهٔ یک مغزه‌گیر[16] با بلندی ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۸/۵ سانتی‌متر برداشت شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه برای اندازه‌گیری فعالیت سزیم-۱۳۷ ارسال شد (صدیقی و همکاران ۲۰۲۱).

a – الف



b – ب

شکل ۲- نماهایی از کاربری‌های کشاورزی دیم و مرتع (الف) و موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک و دامنه‌های انتخاب‌شده (ب) در زیرآبخیز مطالعه‌شده.

Figure 2- Views of rainfed agriculture and rangeland (a) and location of soil sampling points and selected hillslopes (b) in the study sub-watershed.

آماده‌سازی خاک و اندازه‌گیری موجودی سزیم-۱۳۷

بعد از انتقال به آزمایشگاه هر نمونه ابتدا هواخشک شد. سپس، در ظرف آلومینیومی به‌مدت ۲۴ ساعت در خشک کن انجمادی گذاشته شد. سپس، نمونه وزن شد و پس از آن در آسیاب صنعتی خرد شد. سرانجام از الک ۶۳ میلی‌متر عبورداده شد (چیو و همکارن ۲۰۱۱). اندازهٔ ۲۹۳ گرم خاک درون ظرف مخصوص نگین ریخته شد و با اندازه‌گیری اندازهٔ تشعشع گاما از عنصر سزیم-۱۳۷ در نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه گاما اسپکترومتر (کالینز و همکاران ۱۹۹۷) بدون استفاده از تیمار شیمیایی خاصی، فعالیت سزیم-۱۳۷ بر حسب بکرل بر کیلوگرم به‌دست آمد. سپس، با استفاده از جرم مخصوص ظاهری و رابطهٔ ۱، فعالیت سزیم-۱۳۷ به موجودی سزیم-۱۳۷ تبدیل شد (والینگ ۲۰۰۳).

$$CPI= \sum Ci.Bi.Di.103 \qquad (۱)$$

CPI، اندازهٔ موجودیت سزیم-۱۳۷ در خاک (بکرل بر مترمربع) ، Ci: فعالیت سزیم-۱۳۷ در خاک (بکرل بر کیلوگرم) ، Di: ضخامت یا ژرفای لایهٔ نمونه‌برداری (۰/۲۵ متر) و Bi: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

استفاده از مدل‌های تبدیل‌کننده برای تبدیل موجودی سزیم-۱۳۷ به فرسایش/رسوب‌گذاری

برای تبدیل اندازهٔ موجودی سزیم-۱۳۷ به اندازهٔ فرسایش و رسوب‌گذاری برای کاربری‌های زراعی و این دلیل که ارزیابی اولیه و شواهدی از شدت جابجایی خاک در منطقهٔ مطالعه‌شده موجود نبود، از مدل تبدیل توازن

15- Bulk Sampling
16- Auger

جرمی II[17] که ورودی‌های این مدل، ژرفای شخم، جرم مخصوص ظاهری خاک و سال شروع عملیات زراعی بود، استفاده شد و برای زمین‌های مرتعی نیز از مدل پخش و انتقال[18] استفاده شد (والینگ و همکاران ۲۰۰۷). در این پژوهش، ژرفای واهُلش، برابر ۸/۰ سانتی‌متر و ضریب انتشار (D) و مهاجرت (V) با استفاده از رابطهٔ ۱ و ۲ به‌ترتیب برابر ۲۴/۲۷ و ۰/۴۵ محاسبه شد.

$$V = \frac{w_p}{t - 1963} \quad (۲)$$

$$D = \frac{(N_P - W_P)^2}{2(t - 1963)} \quad (۳)$$

T: سال نمونه‌برداری، W_P: ژرفای جرمی (کیلوگرم بر مترمربع) لایه‌ای با بیشترین غلظت سزیم-۱۳۷ و N_P: ژرفای جرمی (کیلوگرم بر مترمربع) لایه‌ای که در آن غلظت سزیم-۱۳۷ به $\frac{1}{e}$ اندازهٔ بیشینه آن کاهش می‌یابد، است.

تعیین محدوده‌های پایدار، فرسایش، رسوب‌گذاری

برای تعیین محدوده‌های فرسایش و رسوب‌گذاری از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده شد.

(۴) = مرز میان حالت پایدار و فرسایش
Mean –95% confidence interval

(۵) = مرز میان حالت پایدار و رسوب‌گذاری
Mean+ 95% confidence interval

Mean: اندازهٔ میانگین موجودیت سزیم-۱۳۷ و 95% confidence interval: فاصلهٔ اعتماد در سطح ۹۵٪ با پذیرش خطای ۱۰٪ میان موجودیت سزیم-۱۳۷ در نقاط مرجع است.

محدودهٔ میان نقاط فرسایش و رسوب به‌عنوان محدوده پایدار در نظر گرفته شد (والینگ و همکاران ۲۰۱۴). ارزش اعدادی که در این محدوده بودند، صفر در نظر گرفته شدو اندازهٔ میان ±4 به‌عنوان محدوده پایدار در نظر گرفته شد.

استخراج نقشه‌های توزیعی سنجه‌های پستی‌بلندی در زیرآبخیز شاهد

برای استخراج سنجه‌های پستی‌بلندی در زیرآبخیز شاهد از مدل رقومی ارتفاع (گلن و همکاران ۲۰۰۶) که با دقت یک متر به‌وسیله پهپاد فتوگرامتری تهیه شده بود، استفاده شد. ابتدا نقشهٔ شیب برحسب درجه و نقشهٔ جهت شیب نیز به‌شکل زاویه آزیموت از صفر تا ۳۶۰ درجه با استفاده از نسخه ۱۰/۸ نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. سپس، نقشهٔ دیگر سنجه‌های پستی‌بلندی شامل انحنای نیم‌رخ، انحنای مقطع، انحنای عمومی، تجمع جریان، طول شیب، عامل پستی‌بلندی، قدرت جریان آبراهه و شاخص رطوبت پستی‌بلندی نیز با استفاده از ابزارهای مربوط به هر یک در نسخه ۱۰/۸محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

تهیه نقشهٔ واحدهای کاری با تلفیق کاربری زمین و شدت شیب

برای تهیه نقشهٔ واحدهای کاری از نقشهٔ کاربری زمین و شدت شیب استفاده شد. در ابتدا نقشهٔ کاربری زمین سال ۲۰۲۱ مربوط به منطقهٔ مطالعه‌شده استخراج شد. سپس، نقشهٔ طبقات شیب که از مدل رقومی ارتفاع استخراج‌شده بود با نقشهٔ کاربری زمین روی‌هم‌گذاری شد و نقشهٔ واحدهای کاری استخراج شد. نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب با استفاده از روش واحد کاری به‌دست آمده از تلفیق شیب و کاربری زمین (صدیقی و همکاران ۲۰۲۰؛ صدیقی و همکاران ۲۰۲۱) تهیه شد. واحدهای کاری از هم‌پوشانی دو نقشهٔ کاربری زمین و نقشهٔ طبقات شیب تهیه شد. سرانجام، میانگین ارزش عددی فرسایش/رسوب‌گذاری در نقاط نمونه‌برداری خاک به واحد کاری محاط بر نقاط تعمیم‌داده شد.

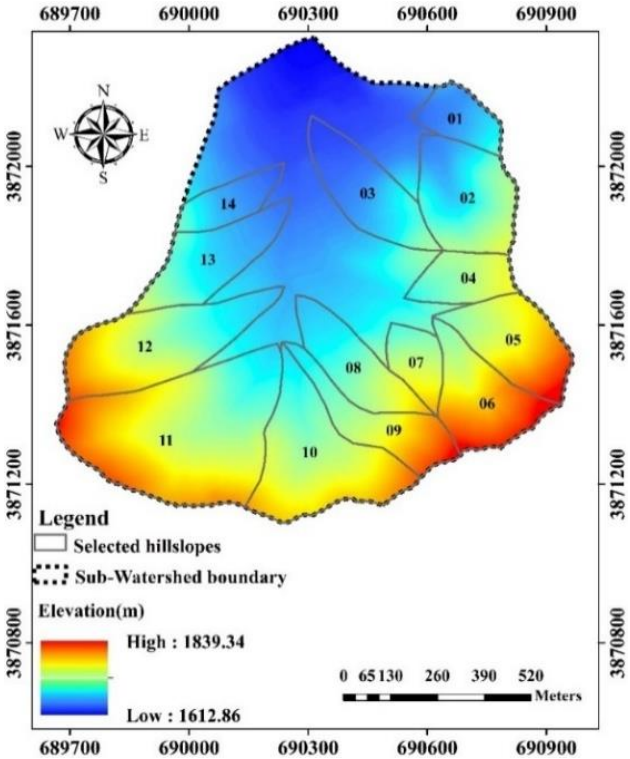
بودجه‌بندی رسوب در هر یک از دامنه‌های انتخابی

در این پژوهش، تعداد ۱۴ دامنه بر اساس تنوع ویژگی‌های شدت و جهت شیب در زیرآبخیز مطالعه‌شده، انتخاب شد (شکل ۳). سپس، اندازه‌های کمینه، بیشینه و میانگین، مساحت و انحراف معیار سنجه‌های پستی‌بلندی برای هر یک از دامنه‌ها با استفاده از ابزار زونال در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 محاسبه شد. اندازه‌های کمینه، بیشینه و میانگین، مساحت و انحراف معیار فرسایش/رسوب‌گذاری برای هر یک از دامنه‌ها با استفاده از نقشهٔ فرسایش/ رسوب‌گذاری تهیه شد. با رهیافت واحدکاری برای کل زیرآبخیز شاهد و ابزار زونال در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استخراج شد. سپس، با

17- Mass Balance Model II

18- Diffusion and Migration Model

استفاده از میانگین فرسایش/رسوب‌گذاری و مساحت محدوده‌های فرسایش، پایدار و رسوب‌گذاری اجزای بودجه رسوب در هر یک از دامنه‌ها محاسبه شد.



شکل ۳- دامنه‌های انتخاب‌شده در زیرآبخیز مطالعه‌شده برای تحلیل رابطهٔ سنجه‌های پستی‌بلندی و اجزای بودجه رسوب.

Figure 3- Hillslopes selected in the study sub-watershed to investigate the relationship between topographic metrics and sediment budget components.

تحلیل داده‌ها

بعد از مرتب‌سازی داده‌ها در نرم‌افزار اکسل، داده‌ها وارد نسخه ۲۲ نرم‌افزار SPSS شد و با توجه به اینکه تعداد دامنه‌های بررسی‌شده در این پژوهش کمتر از ۳۰ بود، بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک[19] بررسی شد. سپس، بعد از بررسی و اثبات بهنجار بودن داده‌ها، رابطهٔ میان سنجه‌های پستی‌بلندی با اجزای بودجه رسوب در مقیاس دامنه با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون (مسرور و همکاران ۲۰۲۱) بررسی شد و سنجه‌های پستی‌بلندی با همبستگی معنی‌دار با اجزای بودجه رسوب، مشخص شدند. سپس، با توجه به اینکه رابطهٔ منطقی متغیرهای مستقل و وابسته و رابطه‌های معنی‌دار میان آنها شناسایی و تأمین شد، از وایازی دومتغیره برای ارائه معادله‌های برآورد شدت فرسایش و بازتوزیع خاک استفاده شد. همچنین، عامل‌های مؤثر بر هر یک از اجزای بودجه رسوب با استفاده از ضریب‌های همگون‌شده β در وایازی دومتغیره، اولویت‌بندی شدند. اما با توجه به اینکه فقط عامل طول شیب در معادله وایازی تأثیرگذار بر اجزای بودجه رسوب تشخیص‌داده شد، ازاین‌رو، ضریب همگون‌شده بتا (β) حذف شد.

19- Shapiro-Wilk

نتایج و بحث

نتایج محاسبهٔ میانگین سنجه‌های پستی‌بلندی به‌دست آمده از نقشهٔ توزیعی سنجه‌های پستی‌بلندی در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول ۱- نتایج میانگین سنجه‌های پستی‌بلندی در ۱۴ دامنهٔ انتخاب‌شده.

Table 1- The results of the average topographic metrics in the 14 selected hillslopes.

Slope Number	Area (ha)	Aspect (degree)	Slope angle (degree)	Slope length (L factor)	LS Factor	Flow Accumulation	Plan Curvature	Profile Curvature	SPI	TWI
1	2.2694	275.394	20.912	0.926	2.494	103.127	0.0015	-0.0010	0.098	3.979
2	6.0306	231.974	33.802	1.149	4.515	185.046	-0.0007	0.0001	0.347	4.011
3	4.8586	277.123	21.082	0.955	2.473	232.998	0.0012	-0.0004	0.111	3.845
4	2.8124	255.017	24.245	1.187	3.177	145.172	0.0002	0.0006	0.212	4.354
5	4.8102	296.564	38.959	1.087	5.460	219.164	-0.0003	-0.0001	0.342	3.580
6	4.9299	207.993	44.908	1.026	6.079	213.077	-0.0002	0.0015	0.405	3.373
7	2.1546	241.021	38.238	1.189	5.477	100.327	0.0025	-0.0021	0.413	3.963
8	4.1505	291.924	25.407	1.062	3.307	233.683	0.0013	-0.0011	0.194	3.863
9	3.9251	304.137	35.983	1.053	4.783	258.395	0.0013	0.0004	0.310	3.588
10	8.4369	198.452	33.582	1.035	4.484	302.189	-0.0005	0.0001	0.271	3.601
11	14.7385	114.458	34.490	1.155	4.684	327.724	0.0002	-0.0002	0.341	3.902
12	7.9542	67.641	32.658	1.121	4.329	326.320	0.0000	0.0000	0.302	3.826
13	4.8195	75.612	21.208	0.948	2.444	237.236	0.0007	-0.0007	0.110	3.752
14	2.3254	66.999	21.468	0.902	2.453	122.602	0.0018	-0.0002	0.123	3.777

Aspect: جهت شیب
Slope Angle (degree): درجه شیب
Slope Length (L factor): طول شیب
LS Factor: عامل پستی‌بلندی
Plan Curvature: انحنای مقطع
Profile Curvature: انحنای نیم‌رخ
Flow Accumulation: تجمع جریان
TWI: شاخص رطوبت پستی‌بلندی
SPI: شاخص قدرت جریان

بر اساس نتایج جدول ۱، در دامنه‌های انتخابی زاویهٔ جهت شیب از ۶۶/۹۹ تا ۳۰۴/۱۳۷ درجه و اندازهٔ شیب نیز از ۲۰/۹۱۲ تا ۴۴/۹۰۸ درجه محاسبه شد. عامل طول شیب و عامل پستی‌بلندی نیز به‌ترتیب از ۰/۹۰۲ تا ۱/۱۸۹متر و از ۲/۴۴۴ تا ۶/۰۷۹ به‌دست آمد. همچنین، شاخص تجمع جریان از ۱۰۰/۳۲۷ تا ۳۲۷/۷۲۴ بود. انحناهای مقطع و نیم‌رخ به‌ترتیب از ۰/۰۰۰ تا ۰/۰۰۲ و از ۰/۰۰۰ تا ۰/۰۰۲ محاسبه شد. شاخص قدرت جریان آبراهه و شاخص رطوبت پستی‌بلندی به‌ترتیب از ۰/۰۹۸ تا ۰/۴۱۳ و از ۳/۳۷۳ تا ۴/۳۵۴ به‌دست آمد. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر اندازهٔ فرسایش و رسوب، درجه شیب بود. چون با کاهش درجه شیب و با توجه به مساعد شدن شرایط برای ایجاد شخم و تبدیل مرتع به دیم‌زار، تغییر کاربری انجام‌شده است و این عامل باعث شد خاک در معرض فرسایش تشدیدی قرار گیرد؛ از سوی دیگر با جداشدن ذرات خاک از هم، عامل فرسایش به راحتی ذرات خاک را از هم جدا کرده و با توجه به ضعف پوشش گیاهی دیم‌زارها، تجمع رواناب باعث افزایش فرسایش شد. این نتایج با یافته‌های ونتریس و همکاران (۲۰۰۴)، هکرات و همکاران (۲۰۰۵)۵، دو و والینگ (۲۰۱۱) و یانگ و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر اینکه در زمین‌های کشاورزی، فرسایش آبی و خاک‌ورزی دو فرآیند اصلی توزیع مجدد خاک هستند، مطابقت دارد. یافته‌های این پژوهش با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر اینکه درجه شیب و طول شیب بر اندازهٔ هدررفت خاک و رواناب را در زمین‌های کشاورزی تأثیرگذارند، اما اثر معنی‌داری روی هدررفت خاک یا رواناب در قطعاتی با پوشش گیاهی دائمی ندارند، هم‌راستا است. اندازه‌های اجزای بودجه رسوب هر یک از دامنه‌ها با استفاده از نقشهٔ توزیعی به‌دست آمده از رهیافت واحد کاری برای کل زیرآبخیز در جدول ۲ ارائه‌شده است. فرسایش ویژه کل از ۰/۹۳۴ (تن در هکتار در سال) در دامنه شش تا ۷/۵۲۰ (تن در هکتار در سال) در دامنه چهار متغیر بود و به تبع آن رسوب‌گذاری ویژه کل (بازتوزیع خاک) نیز از ۰/۰۳۰ در دامنه ۱۳ تا ۰/۵۱ در دامنه ۱۰ (تن در هکتار در سال) متغیر بود و درصد کم‌تری را کسب کرد و درصد بیش‌تری از فرسایش از دامنه‌ها خارج‌شده است. فرسایش ویژه خالص از ۰/۷۹ در دامنه شش تا ۷/۴۵ در دامنه یک (تن

در هکتار در سال) بیانگر این یافته است. همچنین، با توجه به نسبت تحویل رسوب که از ۰/۸۴ در دامنه شش تا ۱ در دامنه ۱۳ به‌دست آمد، بیانگر این یافته است. بر اساس نتایج فرسایش ویژه خالص و نسبت تحویل رسوب، مشخص شد که اندازهٔ رسوب خروجی از دامنه‌های مطالعه‌شده بیشتر است که این موضوع به‌دلیل تغییر کاربری و شخم در مناطق پایین‌دست دامنه‌های انتخاب‌شده و کاهش زاویه شیب بود. این نتایج با یافته‌های صدیقی و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر اینکه در نقاط پایین‌دست به‌دلیل کشت دیم فرسایش بیشتر است و در مناطق بالادست به‌دلیل دست‌خوردگی کم‌تر خاک، اندازهٔ فرسایش کمتر است، مطابقت دارد.

جدول ۲- نتایج مؤلفه‌های بودجه‌بندی رسوب در ۱۴ دامنهٔ انتخاب‌شده.

Table 2- The results of sediment budget components in the 14 selected hillslopes.

Slope Number	Area (ha)	Total Erosion ($t\ y^{-1}$)	Specific Total Erosion ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)	Total Deposition ($t\ y^{-1}$)	Specific Total Deposition ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)	Net Erosion ($t\ y^{-1}$)	Specific Net Erosion ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)	SDR
1	2.2694	-17.038	-7.508	0.134	0.059	-16.903	-7.448	0.992
2	6.0306	-10.843	-1.798	0.253	0.042	-10.590	-1.756	0.977
3	4.8586	-35.368	-7.279	1.017	0.209	-34.351	-7.070	0.971
4	2.8124	-21.150	-7.520	1.188	0.422	-19.962	-7.098	0.944
5	4.8102	-10.075	-2.095	1.354	0.281	-8.721	-1.813	0.866
6	4.9299	-4.605	-0.934	0.733	0.149	-3.872	-0.785	0.841
7	2.1546	-2.732	-1.268	0.212	0.099	-2.520	-1.170	0.922
8	4.1505	-24.457	-5.892	0.478	0.115	-23.979	-5.777	0.980
9	3.9251	-14.255	-3.632	0.477	0.122	-13.778	-3.510	0.967
10	8.4369	-28.281	-3.352	4.271	0.506	-24.010	-2.846	0.849
11	14.7385	-43.721	-2.966	4.156	0.282	-39.565	-2.684	0.905
12	7.9542	-24.373	-3.064	1.416	0.178	-22.957	-2.886	0.942
13	4.8195	-30.531	-6.335	0.145	0.030	-30.386	-6.305	0.995
14	2.3254	-14.400	-6.192	0.309	0.133	-14.091	-6.059	0.979

بر اساس نتایج جدول ۲ و نتایج بودجه‌بندی رسوب، دامنهٔ شش، کمترین اندازهٔ فرسایش ویژه (۰/۷۸۵ تن در هکتار بر سال) و دامنهٔ یک، بیشترین اندازهٔ فرسایش ویژه (۷/۴۴۸ تن در هکتار بر سال) را کسب کرد. جهت شیب در دامنهٔ شش جنوب‌غربی و در دامنه یک شمال‌غربی بود. این یافته‌ها با نتایج لی و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر اینکه در دامنه‌های شمالی اندازهٔ فرسایش ۲۴ تا ۸۱٪ بیشتر از دامنه‌های جنوبی بود، هم‌راستا است. یکی از مهم‌ترین علت‌های این رویداد، تغییر کاربری به‌دلیل درجه شیب کمتر در دامنه یک (۲۰/۹۱۲ درجه) بود که سبب‌شده مرتع بیشتری به کشاورزی تبدیل شود و باعث دست‌خوردگی خاک سطحی و افزایش اندازهٔ فرسایش خاک شود. در دامنهٔ شش با توجه به شیب زیاد (۴۴/۹۰۸ درجه) امکان شخم و تغییر کاربری مرتع کم‌تر بود. همچنین، با توجه به وجود سنگریزه و گیاهان طبیعی چند ساله در مراتع، زبری سطحی بیشتر بود و حجم و سرعت رواناب کمتر بود که سبب می‌شود به‌رغم شیب زیاد، با توجه به وجود گیاهان دایمی، رواناب به‌شکل ناحیه‌ای تشکیل شود و قبل از تجمع با هم به زمین نفوذ کند. این یافته‌ها با نتایج گاورز و همکارن (۲۰۰۶) و وان دن پوته و همکاران (۲۰۱۰) کبنی بر اینکه تغییر کاربری و دست‌خوردگی خاک نه تنها پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد، بلکه با افزایش رواناب، خاک را نیز مستعد جدا شدن می‌کند و فرسایش را افزایش می‌دهد، هم‌راستا است. اثر طول شیب در مراتع بالادست چندان مشاهده نشد. همچنین، نبود رابطه میان طول شیب و هدررفت خاک در مرتع ممکن است به‌دلیل ماهیت ناپیوسته رواناب در سطح زمین با پوشش گیاهی دائمی باشد که از تجمع جریان جلوگیری می‌کند (سردان و همکاران ۲۰۱۰). از سوی دیگر، به جای تجمع پیوسته رواناب در جهت پایین شیب، رواناب در سطح خاک با پوشش گیاهی دائمی اغلب رواناب سطحی ناپیوسته است و قدرت فرسایشی رواناب، افزایش نمی‌یابد (کامرات ۲۰۰۲، سردان و همکاران ۲۰۰۴). سرانجام، می‌توان

گفت اثر کاربری زمین به‌شکل آشکاری بر دیگر عامل‌ها غالب‌شده، تا جایی که در برخی شرایط رابطه‌های غیرمعمول میان اجزای بودجه رسوب و به‌ویژه ویژگی‌های پستی‌بلندی مشاهده شد. دلیل اصلی تأثیر بسیار شدید کاربری زمین‌های کشاورزی و به‌شکل ویژه عملیات خاک‌ورزی بر فرسایش خاک این است که هم بر پوشش گیاهی در طول سال و هم بر اندازهٔ دست‌خوردگی خاک تأثیرگذار است (ژائو و همکاران ۲۰۲۲). نتایج بررسی بهنجار بودن داده‌ها در تعداد ۱۴ دامنهٔ بررسی‌شده، بیانگر آن بود که سنجه‌های پستی‌بلندی و اجزای بودجه در این دامنه‌ها در سطح پنج درصد بهنجار بودند. ازاین‌رو، برای بررسی همبستگی میان سنجه‌های پستی‌بلندی با اجزای بودجه رسوب در مقیاس دامنه از آزمون پیرسون استفاده شد و نتایج آن در جدول ۳ ارائه‌شده است.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون میان سنجه‌های پستی‌بلندی و اجزای بودجه رسوب در مقیاس دامنه.

Table 3- The Pearson correlation coefficient between topographic metrics and sediment budget components at the hillslope scale.

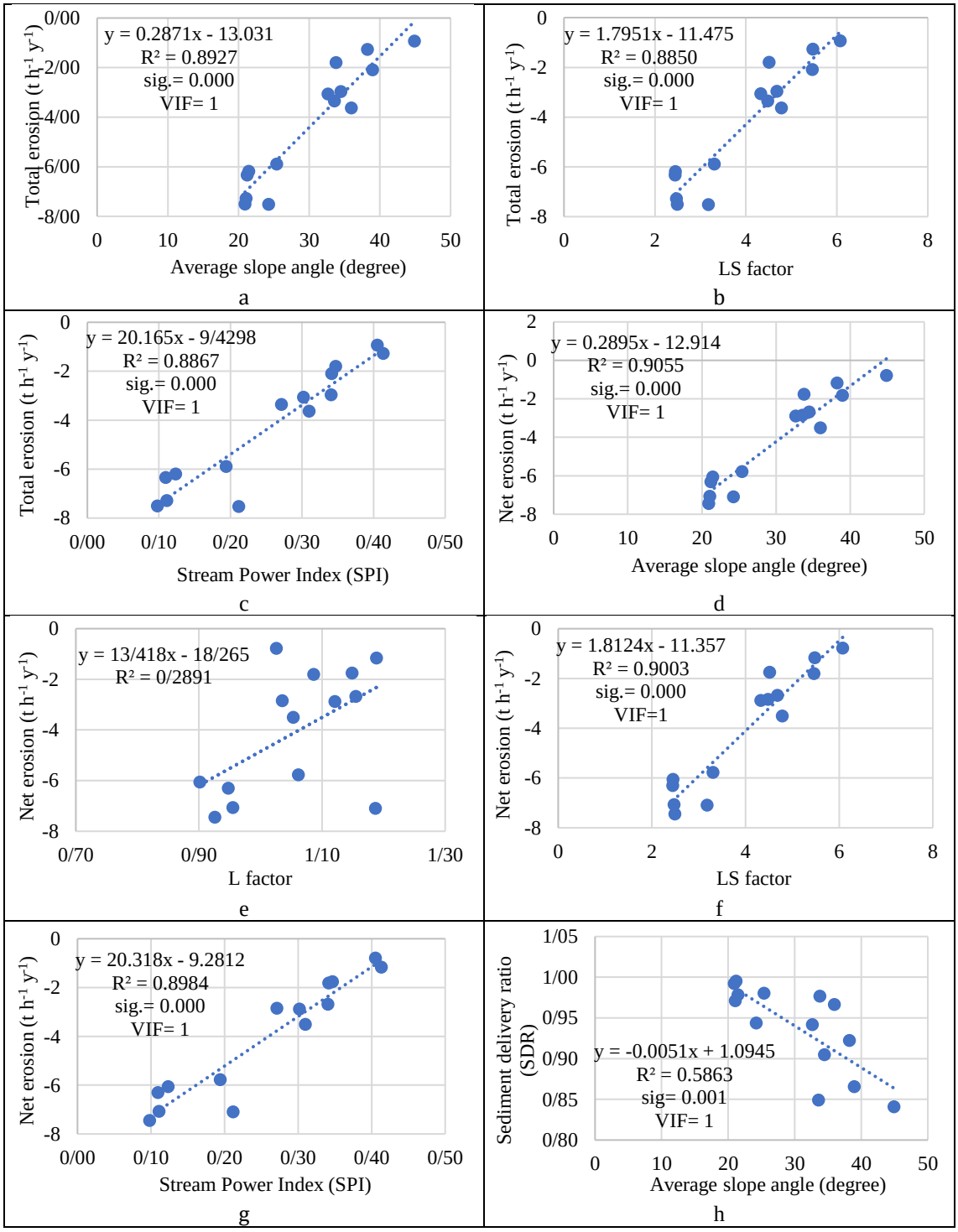
Budget components / Topographic metrics	Total Erosion ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)	Total Deposition ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)	Net Erosion ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)	SDR
Aspect	.021	.072	.017	-.055
Slope angle	-.945**	.132	-.952**	-.765**
Slope length (L factor)	-.521	.296	-.538*	-.321
LS factor	-.940**	.156	-.949**	-.762**
Flow accumulation	-.254	.347	-.274	-.318
Plan curvature	.355	-.500	.383	.485
Profile curvature	-.146	.393	-.168	-.470
Stream power index (SPI)	-.943**	.116	-.949**	-.664**
Topographic wetness index (TWI)	.469	.046	.465	.514

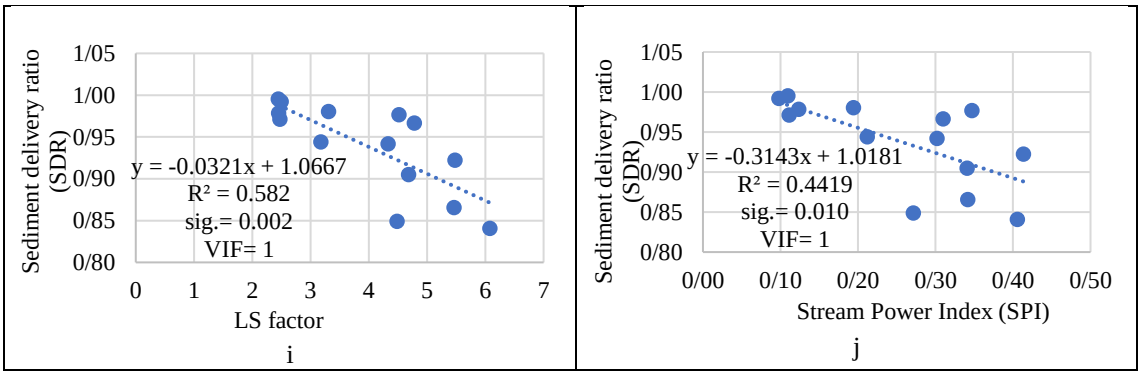
* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹٪.

* and ** indicate significant correlation at 95% and 99% confidence levels, respectively.

با استفاده از وایازی دومتغیره، میان متغیرهای مستقل (سنجه‌های پستی‌بلندی) و وابسته (اجزای بودجه رسوب)، رابطه‌های معنی‌دار شناسایی و ارائه شد. بر اساس رابطه‌های به‌دست آمده اجزای بودجه رسوب به‌وسیلهٔ داده‌های سنجه‌های پستی‌بلندی برآورد شد. نتایج وایازی دومتغیره در شکل ۴ ارائه‌شده است. در مقیاس دامنه، نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که رابطهٔ میان درجه شیب با فرسایش کل (۰/۹۵-) و فرسایش خالص (۰/۹۵-) (تن در هکتار بر سال) در سطح خطای یک درصد منفی و معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، بر اساس نمودارهای a (فرسایش کل) و d (فرسایش خالص) (تن در هکتار بر سال) مشخص شد که با افزایش شدت شیب، فرسایش کل و فرسایش خالص کاهش یافتند و اندازهٔ ضریب تبیین در این شکل‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۸۹ و ۰/۹۱ به‌دست آمد (شکل ۴). با توجه به اینکه در بیش‌تر دامنه‌ها، حرکت ذرات خاک فرسایش‌یافته بر اثر شیب به پایین‌دست دامنه‌ها تسهیل می‌شود، اما در این پژوهش، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش درجه شیب، فرسایش ویژه کل و خالص (تن در هکتار بر سال) کاهش یافت. این یافته به‌دلیل تأثیرگذار بودن کاربری زمین بر زاویه شیب است. در نتیجه کاهش شیب، مراتع به زمین‌های کشاورزی تبدیل شده‌اند. به بیان دیگر، اگر چه زاویه شیب در دامنه‌ها کم‌تر بود، اما به‌دلیل نابودی خاک و شخم زدن در جهت شیب، در زمین‌های کشاورزی و دیم پایین‌دست فرسایش بیش‌تر بود. با افزایش شیوه‌های خاک‌ورزی، سرعت نابودی خاک افزایش و زبری سطح خاک کاهش یافت. در نتیجه، ذرات زیادی از خاک جدا شده و به‌وسیلهٔ رواناب سطحی، انتقال یافته‌اند. این موضوع سبب افزایش اندازهٔ رسوب انتقال‌یافته به پایین‌دست دامنه‌ها شد. این نتایج با یافته‌های برخی از پژوهش‌های پیشین (ژائو و همکاران ۲۰۲۲، صدیقی و همکاران ۲۰۲۱، گوورز و همکاران ۱۹۹۶) مبنی بر اینکه

عامل کاربری زمین بر عامل شیب دامنه غالب‌شده و اثرات منطقی شیب را تغییر داد، هم‌راستا است. همچنین، یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) در مقیاس کل آبخیز معرف-زوجی خامسان مبنی بر اینکه بیشترین شدت فرسایش خالص مربوط به زیرآبخیزهای با شیب متوسط کم‌تر از ۲۰٪ بود و فقط با نقش کاربری زمین و اثر متقابل آن با شدت شیب قابل تفسیر است، مطابقت دارد.





شکل ۴- مدل‌های وایازی برآورد اجزای بودجه رسوب با استفاده از سنجه‌های پستی‌بلندی.

Figure 4- Regression models for estimating the sediment budget components using topographic metrics.

از سوی دیگر، نتایج این پژوهش با یافته‌های ژائو و همکاران (۲۰۲۲)، کیکوچی و همکاران (۲۰۲۰)، و ولاسکو و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر اینکه اندازهٔ فرسایش در بخش‌های شیب‌دار بالادست دامنه‌ها در مقایسه با شیب‌های پایین‌دست، بیشتر است، متناقض است. دلیل این یافته تغییر کاربری و مدیریت (تبدیل مرتع به کشاورزی دیم با شخم در جهت شیب اصلی) بود. با توجه به نابودی خاک و از میان رفتن پوشش گیاهی سطح خاک، تأثیر عامل‌های دیگر مانند شدت شیب، کاهش یافت. این یافته با نتایج عباسی و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر اینکه وجود لاشبرگ و پوشش گیاهی در کاربری جنگل و مرتع در طبقات شیب زیاد تغییر معناداری در اندازهٔ فرسایش و رسوب ایجاد نکرد، مطابقت دارد. سرانجام، بر پایهٔ مدل‌های وایازی به‌دست آمده، اندازهٔ فرسایش کل و خالص در مقیاس دامنه‌های زیرآبخیز مطالعه‌شده، برآورد شد (شکل ۴). همچنین، بر اساس نتایج جدول ۳، مشخص شد که رابطهٔ میان نسبت تحویل رسوب با درجه شیب منفی (۰/۷۷-) و معنادار بود. ضریب تبیین نیز ۰/۵۸ به‌دست آمد. از سوی دیگر، نسبت تحویل رسوب در دامنه‌های با شیب کم، بیشتر از دامنه‌های با شیب زیاد بود (شکل h-۴). بر پایهٔ قوانین حاکم بر فرسایش، رابطه منفی میان نسبت تحویل رسوب و شدت شیب نشان داد که عامل مهم و مؤثر بر این نتایج، کاربری زمین‌های دامنه‌های مطالعه‌شده بود. کشاورزی دیم به‌دلیل زاویه شیب کمتر در بخش‌های پایین‌دست دامنه‌های بررسی‌شده انجام‌شده است. در حالی که در بخش‌های شیب‌دار بالادست دامنه‌ها، امکان تغییر کاربری مرتع به دیم امکان وجود نداشته است. ازاین‌رو، شدت فرسایش خاک و انتقال و تحویل رسوب در این بخش‌ها کمتر بود. این نتایج با یافته‌های صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) در مقیاس کل آبخیز معرف-زوجی خامسان، هم‌راستا است. نتایج این پژوهش با یافته‌های پارک و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر اینکه نسبت تحویل رسوب تحت تأثیر عامل‌هایی چون توان تولید رسوب، پستی‌بلندی (که با اندازهٔ شیب رابطه مستقیم دارد)، مساحت آبخیز و بسیاری از عامل‌های دیگر است، هماهنگی دارد. با توجه به معادله وایازی ارائه شده، اندازهٔ نسبت تحویل رسوب بر اساس شیب محاسبه شد (شکل h-۴). فرسایش کل و خالص خاک (تن در هکتار بر سال) و نسبت تحویل رسوب با افزایش عامل پستی‌بلندی، کاهش یافت و ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که رابطه میان ضریب عامل پستی‌بلندی و اندازهٔ فرسایش کل و خالص (تن در هکتار بر سال) و نسبت تحویل رسوب منفی (به‌ترتیب ۰/۹۴-، ۰/۹۵- و ۰/۷۶-) و معنادار در سطح خطای یک درصد بود (جدول ۳). همچنین ضریب تبیین فرسایش کل و خالص (تن در هکتار بر سال) و نسبت تحویل رسوب با عامل پستی‌بلندی به‌ترتیب ۰/۸۶، ۰/۹۰ و ۰/۵۸ به‌دست آمد (شکل ۴). این نتایج بر اساس قوانین حاکم بر فرآیند فرسایش و انتقال رسوب قابل قبول نبود. از آنجایی که در این پژوهش در مناطق

پایین‌دست انحنای دامنه‌ها مقعر بود و از سوی دیگر می‌بایست بیشترین رسوب‌گذاری در این دامنه‌ها مشاهده شود، ولی به‌دلیل دست‌خوردگی خاک در مناطق نامبرده اندازهٔ فرسایش بیشتر بود. این موضوع به دلیل تأثیر غالب کشاورزی دیم در بخش‌های پایین‌دست دامنه‌ها بود که سبب ایجاد رابطه‌های منفی میان زاویه شیب و حتی عامل پستی‌بلندی با فرسایش خاک شد. با توجه به مدل‌های وایازی ارائه‌شده، اندازهٔ فرسایش کل و خالص (تن در هکتار بر سال) و نسبت تحویل رسوب بر اساس عامل پستی‌بلندی، برآورد شد. فرسایش خالص (تن در هکتار بر سال) با افزایش طول شیب کاهش یافت (شکل e-۴). بر اساس نتایج جدول ۳، رابطهٔ همبستگی میان طول شیب و فرسایش خالص (تن در هکتار بر سال) منفی (۰/۵۴-) و معنادار در سطح خطای پنج درصد بود. همچنین، اندازهٔ ضریب تبیین ۰/۲۸ به‌دست آمد. با افزایش طول شیب، به‌رغم امکان افزایش ژرفا و سرعت رواناب سطحی، امکان توزیع مجدد خاک‌های فرسایش یافته نیز افزایش یافت و در نتیجه رابطه منفی میان طول شیب و فرسایش خالص در شرایط خاص دامنه‌های مطالعه‌شده دور از انتظار نبود. افزون بر این، انحنای مقطع و نیم‌رخ دامنه‌ها که عموماً مرکب (در بخش‌های بالایی محدب و در بخش‌های پایینی مقعر) بودند، عامل مؤثری در این نتایج به‌شمار می‌آید. افزایش طول شیب سبب رسیدن رواناب به بخش‌های پایین‌دست دامنه‌ها (با زاویه شیب کمتر) و کاهش ظرفیت انتقال رسوب و افزایش رسوب و در نتیجه کاهش فرسایش خالص (تن در هکتار بر سال) شد. همچنین، می‌توان گفت که ناهمواری و پوشش گیاهی در خاک‌های مرتعی دست‌نخوردهٔ بالادست بیشتر بود. ازاین‌رو، تله‌گذاری و توزیع مجدد رسوب بیشتر مربوط به زمین‌های کشاورزی دیم بود. به بیان دیگر، ریشه‌های گیاهی باعث کاهش فرسایش‌پذیری خاک شده و خاک را از جدا شدن به‌وسیلهٔ قطرات باران و انتقال رولناب محافظت می‌کنند (گیسلز و همکاران، ۲۰۰۵؛ وانوپن و همکاران، ۲۰۱۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۹). در بخش‌های پایین‌دست دامنه‌ها، ناهمواری‌ها در اثر فعالیت‌های کشاورزی کاهش یافته و انتقال رسوب به‌ویژه در شیارهای ناشی از شخم زدن تسهیل‌شده است. نقش مهم زبری سطح بر ویژگی‌های رواناب و یا انتقال رسوب در پژوهش‌های مشکات و همکاران (۲۰۱۹) و مومبینی و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش‌شده است. این پژوهشگران دریافتند که با افزایش زبری سطح، تأثیر انحنای نیم‌رخ بر اثرات شکل شیب تپه، غالب بود. فرسایش کل و خالص (تن در هکتار بر سال) و نسبت تحویل رسوب با افزایش شاخص قدرت جریان کاهش یافتند، و ضریب تبیین فرسایش کل، فرسایش خاص و نسبت تحویل رسوب به‌ترتیب ۰/۸۷، ۰/۹۰ و ۰/۴۴ به‌دست آمد (شکل c, g, j-۴). ضریب همبستگی میان شاخص قدرت جریان با فرسایش کل و فرسایش خالص (تن در هکتار بر سال) و نسبت تحویل رسوب به‌ترتیب ۰/۹۴-، ۰/۹۵- و ۰/۶۶- در سطح خطای یک درصد به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس قوانین فرسایش کل، فرسایش خالص و نسبت تحویل رسوب، افزایش قدرت جریان باعث جدا شدن بیشتر ذرات خاک و انتقال بیشتر رسوب شد. از آنجایی که با افزایش زاویه شیب، شاخص قدرت جریان نیز افزایش یافت، نتایج این بخش دقیقاً با رابطهٔ میان زاویه شیب و فرسایش یکسان بود. به‌رغم پذیرش اثربخشی شاخص قدرت جریان بر فرسایش خاک (کنفورتی و همکاران ۲۰۱۱)، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری زمین عامل مؤثر و غالبی بر فرآیندهای فرسایش خاک و تحویل رسوب در دامنه‌ها است. این یافته‌ها با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر تأثیر کاربری زمین به‌دلیل ایجاد تغییر پویا در پوشش گیاهی در طول سال و تغییر در اندازهٔ دست‌خوردگی خاک، هم‌راستا است. از سوی دیگر، پوشش گیاهی بوته‌ای و گیاهان چندساله و زبری سطحی طبیعی در سطح خاک در مراتع باعث می‌شود که رواناب‌های ایجادشده تا حد امکان به‌شکل سطحی باقی‌مانده و تجمیع و متمرکز نشوند. ازاین‌رو، قدرت جریان نیز افزایش نخواهد یافت (می تنزو همکاران ۲۰۱۲).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که اندازه‌گیری دقیق فرسایش و رسوب و بودجه‌بندی اجزای رسوب در آبخیزها با استفاده از روش‌های قدیمی که هزینه‌بر و وقت‌گیر هستند، مقرون به‌صرفه نیست. ازاین‌رو، امروزه استفاده از مدل رقومی ارتفاع با دقت زیاد برای تهیه متغیرهای زودیافت (سنجه‌های پستی‌بلندی) و همچنین اندازه‌گیری فرسایش و رسوب با استفاده از سزیم-۱۳۷ سبب‌شده تا در کمترین زمان لازم نتایج دقیقی از اندازهٔ فرسایش و رسوب و اجزای بودجه رسوب منطقه مطالعه‌شده به‌دست آید. ازاین‌رو، در این پژوهش مدل‌سازی اجزای بودجه رسوب با استفاده از سنجه‌های پستی‌بلندی در زیرآبخیز شاهد معرف آبخیز خامسان انجام شد. رابطه‌های وایازی برای برآورد اجزای بودجه رسوب با استفاده از سنجه‌های پستی‌بلندی ارائه شد. ناحیهٔ داخلی آبخیز خامسان شامل یک دشت کم‌شیب با کاربری زراعت دیم، غالب بود که تا بخش‌هایی از دامنه‌های پرشیب پیرامون ادامه یافته و مشابه این شرایط در زیرآبخیزها و از جمله زیرآبخیز شاهد نیز مشاهده شد. شرایط تغییرات کاربری زمین از بالادست تا پائین‌دست دامنه‌های پیرامون زمین‌های دیم نسبتاً مشابه بود. ازاین‌رو، معادله‌های وایازی ارائه‌شده در این پژوهش قابلیت استفاده در دامنه‌های آبخیز معرف-زوجی خامسان و نیز دیگر آبخیزهای مشابه را دارد. با توجه به نقش مهم کاربری زمین در تولید فرسایش و رسوب، پیشنهاد می‌شود هرگونه اصلاح و تغییر کاربری زمین در منطقهٔ مطالعه‌شده بر مبنای استعداد زمین و نتایج بررسی‌های آمایش سرزمین انجام شود. همچنین، با توجه به اثرات بیشتر کاربری زمین در مقایسه با دیگر عامل‌های فیزیکی آبخیز، تثبیت بقایای گیاهان در سطح خاک و استفاده از کشاورزی بدون خاک‌ورزی، می‌تواند نقش مهمی در مهار فرسایش داشته باشد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود تحلیل رابطهٔ سنجه‌های پستی‌بلندی با اجزای بودجه رسوب در مقیاس کل آبخیز و در شرایط کاربری‌های غیرزراعی نیز انجام شود.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

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

مشارکت نویسندگان

رضا زارعی: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، منابع، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله.

عبدالواحد خالدی‌درویشان: مفهوم‌سازی، راهنمایی، روش‌شناسی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، ویرایش و بازبینی مقاله.

محمدرضا زارع: راهنمایی، روش‌شناسی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری.

پائولو پورتو: راهنمایی، روش‌شناسی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری.

فهرست منابع

Abbasi M, najafi nejad A, berdi sheikh V, azim mohseni M. 2017. Investigating land use and slope effects on soil properties, runoff and sediment using rainfall simulator case study of kechik Watershed in Golestan Province. Environmental Erosion Research. 6: 104-24. (In persian).

Afshar FA, Ayoubi S, Jalalian A. 2010. Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using 137Cs technique in a cultivated complex hillslope in western Iran. Journal of Environmental Radioactivity.101(8):606-614. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.03.008

Arata L, Meusburger K, Frenkel E, A'Campo-Neuen A, Iurian AR, Ketterer ME, Mabit L, Alewell C. 2016. Modelling deposition and erosion rates with radionuclides (MODERN) e Part 1: A new ronversion model to derive soil redistribution rates from inventories of fallout radionuclides. Journal of Environmental Radioactivity.162-163:45-55. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.008

Bayat R, Moradi S. 2014. Review of research conducted on the sediment delivery ratio. Extension and Development of Watershed Management. 2(5): 27-36. (In persian).

Cammeraat LH. 2002. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. Earth Surface Processes and Landforms. 27(11): 1201-1222. https://doi.org/10.1002/esp.421

Cerdan O, Govers G, Le Bissonnais Y, Van Oost K, Poesen J, Saby N, Dostal T. 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. Geomorphology. 122(1-2): 167-177. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.06.011

Cerdan O, Le Bissonnais Y, Govers G, Lecomte V, Van Oost K, Couturier A, Dubreuil N. 2004. Scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. Journal of Hydrology. 299(1-2):4-14. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.02.017

Chiu YJ, Chang KT, Chen YC, Chao JH, Lee HY. 2011. Estimation of soil erosion rates in a subtropical mountain watershed using 137Cs radionuclide. Natural Hazards. 59(1): 271-284. https://doi.org/10.1007/s11069-011-9749-0

Collins AL, Walling DE, Leeks GJL. 1997. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Catena. 29:1-27. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00064-1

Conforti M, Aucelli PP, Robustelli G, Scarciglia F. 2011. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). Natural Hazards. 56(3): 881-898. https://doi.org/10.1007/s11069-010-9598-2

Du P, Walling DE. 2011. Using 137Cs measurements to investigate the influence of erosion and soil redistribution on soil properties. Applied Radiation and Isotopes. 69(5): 717-726. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.01.022

Evrard O, Laceby PJ, Huon S, Lefevre I, Sengtaheuanghoung O, Ribolz O. 2016.Combinig multiple fallout radionuclides (137Cs., 7Be., 210Pbex) to investigate temporal sediment source dynamics in tropical ephemeral river systems. Journal of Soils Sediments. 16: 1130-1144. https://doi.org/10.1007/s11368-015-1316-y

farhoodi M, mirzaei H, kavyan A, safari A. 2015. Comparison and evaluation of different methods to estimate sediment delivery ratio in three different climates of Iran. Geography and Environmental Planning. 26(3): 255-274. (In Persian).

Glenn NF, Streutker DR, Chadwick DJ, Thackray GD, Dorsch SJ. 2006. Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. Geomorphology. 73: 131-148. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.006

Govers G, Quine TA, Desmet PJ, Walling DE. 1996. The relative contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land. Earth Surface Processes and Landforms. 21(10): 929-946. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199610)21:10<929::AID-ESP631>3.0.CO;2-C

Govers G, Van Oost K, Poesen J. 2006. Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: A simulation study of the interaction between rock fragment cover, soil erosion and land use change. Geoderma. 133: 19–31. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.03.034

Heckrath G, Djurhuus J, Quine TA, Van Oost K, Govers G, Zhang Y. 2005. Tillage erosion and its effect on soil properties and crop yield in Denmark. Journal of Environmental Quality. 34(1):312-324. https://doi.org/10.2134/jeq2005.0312a

Jiang P, Thelen KD. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn–soybean cropping system. Agronomy Journal. 96(1):252-258. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0252

Khaledi Darvishan A, Sadeghi SHR, Homaee M, Arabkhedri M. 2021. Sediment Budgeting in Laboratory Plots under Rainfall Simulation.

Watershed Management Research. 34(2): 15-31. (In Persian). https://doi:10.22092/wmej.2020.123819.1164

Kikuchi T, Kohzu A, Ouchi T, Fukushima T. 2020. Quantifying the sources and removal of nitrate in riparian and lotic environments based on land use and topographic metrics of the watershed. Ecological Indicators. 116: 106535. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106535

Krein A, Petticrew E, Udelhoven T. 2003. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. Catena. 53(2): 165-179. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00021-3

Li M, Shi, X Shen Z, Yang E, Bao H, Ni Y. 2019. Effect of hillslope aspect on landform characteristics and erosion rates. Environmental Monitoring and Assessment. 191: 1-10. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7760-1

Li X, McCarty GW, Karlen DL, Cambardella CA. 2018. Topographic metric predictions of soil redistribution and organic carbon in Iowa cropland fields. Catena. 160: 222-232. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.026

Liu QQ, Singh VP, Xiang H. 2005. Plot erosion model using gray relational analysis method. Journal of Hydrologic Engineering. 10(4):288-294. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:4(288)

Maetens W, Vanmaercke M, Poesen J, Jankauskas B, Jankauskiene G, Ionita. I. 2012. Effects of land use on annual runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean: A meta-analysis of plot data. Progress in Physical Geography.36(5):599-653. https://doi.org/10.1177/0309133312451303

Masroor M, Sajjad H, Rehman S, Singh R, Rahaman MH, Sahana M, Avtar R. 2021. Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Godavari Middle Sub-basin, India. Geoscience Frontiers. 13(2): 101312. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101312

Meshkat M, Amanian N, Talebi A, Kiani-Harchegani M, Rodrigo-Comino J. 2019. Effects of roughness coefficients and complex hillslope morphology on runoff variables under laboratory conditions. Water. 11(12): 2550. https://doi.org/10.3390/w11122550

Mombini A, Amanian N, Talebi A, Kiani-Harchegani M, Rodrigo-Comino J. 2021. Surface roughness effects on soil loss rate in complex hillslopes under laboratory conditions. Catena. 206: 105503. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105503

Morgan RPC, Morgan DDV, Finney HJ. 1984. A predictive model for the assessment of soil erosion risk. Journal of Agricultural Engineering Research.30: 245-253. https://doi.org/10.1016/S0021-8634(84)80025-6

Nosrati K, Govers G, Ahmadi H, Sharifi F, Amoozegar M, Merckx R, Vanmaercke M. 2011. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints? International Journal of Sediment Research. 26: 136-151. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60082-6

Park YS, Kim J, Kim NW, Kim SJ, Jeon JH, Engel BA, Lim KJ. 2010. Development of new R, C and SDR modules for the SATEEC GIS system. Computers and Geosciences. 36(6): 726-734. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.11.005

Porto P, Callegari G. 2022. Comparing long-term observations of sediment yield with estimates of soil erosion rate based on recent 137Cs metrics. Results from an experimental catchment in Southern Italy. Hydrological Processes. 36(9): e14663. https://doi.org/10.1002/hyp.14663

Rajaei H, khodashenas S, Esmaili K. 2017. Laboratory Analysis of Energy Losses in Gabion Steeped Spillways with and without Sedimentation at Upstream. Iranian Journal of Irrigation and Drainage.11(5):900-910. (In Persian).

Ritchie JC, Ritchie CA, 2007. Bibliography of publications of 137-cesium studies related to erosion and sediment deposition. Available from: https://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid¼15237

Rodrigo Comino J, Iserloh T, Lassu T, Cerdà A, Keestra SD, Prosdocimi M, Brings C, Marzen M, Ramos MC, Senciales JM, Sinoga JR. 2016. Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoff generation in spanish and german vineyards. Science of the Total Environment.565:1165-1174. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.163

Sac MM, Ugur A, Yener G, Ozden B. 2008. Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models. Environmental Monitoring Assessment. 136: 461e467. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9700-8

Sadeghi SHR, Raeisi MB, Hazbavi Z. 2018. Influence of freeze-only and freezing-thawing cycles on splash erosion. International Soil and Water Conservation Research. 6(4): 275-279. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.07.004

Samadzadeh R, Pourmohammad S. 2018. Modeling soil erosion and sediment production using morgan-morgan finney (mmf) method in the Gazaz-Chay Khalkhal Watershed. Quantitative Geomorphological Research. 4(2): 75-89.

Sedighi F, Darvishan AK, Zare MR. 2021. Effect of watershed geomorphological characteristics on sediment redistribution. Geomorphology. 375: 107559. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107559

Sedighi F, Khaledi Darvishan A, Golosov V, Zare MR, Spalevic V. 2022. Influence of land use on changes of sediment budget components: western Iran case study. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 46(6): 838-851. https://doi.org/10.55730/1300-011X.3046

Sedighi F, Khaledi Darvishan A, Zare MR. 2020. Assessment of the Slop Gradient on the Estimated Erosion and Sediment Delivery Ratio by Using 137Cs in the Khamsan Representative Watershed. Watershed Management Research. 33(3): 2-19. (In Persian). https://doi:10.22092/wmej.2019.127505.1252

Sharib J, Tugi DFA, Ishak MT, Anthonius C, Adziz MIA, Jaffary NAM. 2023. A study of soil erosion and sedimentation between two different seasons in sembrong catchment using cesium-137. Jurnal Sains Nuklear Malaysia. 35(2): 58-68.

Sherestha M.k. 2010. Soil erosion modeling using remote sensing and GIS, Case of study of Jhikhu Khola Watershed, Nepal. Journal of Nepal Geologyical Society. 41: 7-15.

Tahoori P, Parvin MR. 2016. conservation and sustainable use of soil and its stand in international environmental law. Journal of Environmental Science and Technology. 18(2): 145-161. https://sid.ir/paper/356203/en

Van den Putte A, Govers G, Diels J, Gillijns K, Demuzere M. 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on european crop yields under conservation agriculture. Europian Journal of Agronomy. 33: 231–241.

Vannoppen W, Vanmaercke M, De Baets S, Poesen J. 2015. A review of the mechanical effects of plant roots on concentrated flow erosion rates. Earth-Science Reviews. 150: 666-678. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.08.011

Velasco H, Astorga RT, Joseph D, Antoine JS, Mabit L, Toloza A, Walling DE. 2018. Adapting the Caesium-137 technique to document soil redistribution rates associated with traditional cultivation practices in Haiti. Journal of Environmental Radioactivity. 183: 7-16. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.12.008

Venteris ER, McCarty GW, Ritchie JC, Gish T. 2004. Influence of management history and landscape variables on soil organic carbon and soil redistribution. Soil Science. 169(11): 787-795. https://doi.10.1097/01.ss.0000148742.75369.55

Walling DE, He Q, Whelan PA. 2003. Using Cs-137 metrics to validate the application of the AGNPS and ANSWERS erosion and sediment yield models in two small devon catchments. Soil and Tillage Research. 69:27-43. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00126-5

Walling DE, He Q, Zhang Y. 2014. Conversion models and related software. In: Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies. Iaea-Tecdoc-1741: 125-148.

Walling DE, Zhang Y, He Q. 2007. Models for converting metrics of environmental radionuclide inventories (^{137}Cs, Excess ^{210}Pb, and ^{7}Be) to estimates of soil erosion and deposition rates (Including Software for Model Implementation), Department of Geography, University of Exeter, UK. 87 p.

Wang H, Zhang GH, Li NN, Zhang BJ, Yang HY. 2019. Soil erodibility as impacted by vegetation restoration strategies on the Loess Plateau of China. Earth Surface Processes and Landforms.44(3):796-807. https://doi.org/10.1002/esp.4531

Xie Y, Yuan F, Zhan T, Kang C, Chi Y. 2018. Geochemical and isotopic characteristics of sediments for the Hulun Buir Sandy Land, northeast China: implication for weathering, recycling and dust provenance. Catena. 160: 170-184. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.008

Young CJ, Liu S, Schumacher JA, Schumacher TE, Kaspar TC, McCarty GW, Jaynes DB. 2014. Evaluation of a model framework to estimate soil and soil organic carbon redistribution by water and tillage using 137Cs in two US Midwest agricultural fields. Geoderma. 232: 437-448. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.019

Zapata F. (Ed.). 2002. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environment radionuclides. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. https://doi.org/10.1007/0-306-48054-9

Zarei R, Khaledi Darvishan A. 2020. The role of surface sealing caused by subsequent rainfall in the runoff components at the Kojour Watershed Mazandaran. Watershed Management Research. 33(4): 77-93. (In Persian). https://doi.10.22092/wmej.2020.123725.1161

Zhao J, Wang, Z, Dong Y, Yang Z, Govers G. 2022. How soil erosion and runoff are related to land use, topography and annual precipitation: Insights from a meta-analysis of erosion plots in China. Science of the Total Environment. 802: 149665. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149665

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Analysis of the Relationship between Sediment Budget Components and Topographic Metrics at the Hillslope Scale in Control Sub-watershed of the Khamsan Representative-paired Watershed

Reza Zarei[1], Abdulvahed Khaledi Darvishan[*2], Mohamad Reza Zare[3], Paolo Porto[4]

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

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

3- Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

4- Professor, Department of Agraria, University Mediterranea of Reggio Calabria, Italy

Extended Abstract

Introduction and Goal

Given the critical importance of soil and humanity's reliance on it for food production worldwide, especially in developing countries, one of the most important and fundamental problems today is soil erosion and degradation. The average soil erosion in the country is estimated to be around 16.5 tons per hectare, and soil erosion in Iran is approximately 2 to 2.5 times higher than the average in Asia and 5 to 6 times higher than the global average, predominantly occurring in slopes and hilly areas due to poor vegetation cover. Considering the advancements and development of erosion and sediment methods, along with the costs and lack of accuracy in traditional methods such as the use of erosion pins and plots, the use of radionuclides, especially ^{137}Cs, for measuring the amount of erosion and deposition and sediment budget components is of great importance today. One of the important advantages of these methods, which has attracted the attention of researchers especially in recent decades, is the possibility of measuring soil redistribution due to water erosion in slopes and watersheds and even on the scale of laboratory plots. Accurately estimation of sediment budget components is essential for estimating erosion rates and planning effective soil conservation measures in any region. Therefore, this research aims to estimate the sediment budget components at the hillslope scale using topographic metrics.

Materials and Methods

Due to the possibility of using the results of previous researches and the availability of a digital elevation model with a spatial accuracy of one meter obtained from a drone photogrammetry, the present study was conducted in the control sub-watershed of the Khamsan representative paired watershed in Kurdistan province.

Article Type: Research Article

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

Citation: Zarei, R., Khaledi Darvishan, A., Zare, M.R., Porto, P. 2025. Analysis of the Relationship Between Sediment Budget Components and Topographic Metrics at the Hillslope Scale in Control Sub-watershed of the Khamsan Representative-paired Watershed. Watershed Management Research. 38(2):118-138.

DOI: 10.22092/WMRJ.2025.367713.1602

Received: 16 November 2024, **Received in revised form:** 07 Jauary 2025, **Accepted:** 18 March 2025

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No. 2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 118-138.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)

To investigate the effect of the slope angle and curvature on erosion and sedimentation, soil sampling was done at 31 points in a 200-m grid with a systematic-random method and also at 48 points on six transects. After preparation of the soil samples including air and freeze drying and passing through a 63-micron sieve, 293 grams of soil were sent to the laboratory in special containers for the measurement of ^{137}Cs. Also, distribution maps of topographic metrics were extracted using the digital elevation model in ArcGIS 10.8 software. Then, a distribution map of soil erosion/redistribution was prepared using the ^{137}Cs inventory points and work unit approach. Additionally, the components of the sediment budget including total erosion, total sedimentation, net erosion and sediment delivery ratio were calculated for 14 hillslopes in the studied sub-watershed. Then, in order to check the normality of the data in the 14 studied hillslopes, the Kolmogorov Smirnov test was used, and according to the normality of the data, the correlation between the topographic metrics and the sediment budget components at the hillslope scale was checked using the Pearson correlation test. Finally, regression equations were presented to estimate the sediment budget components using topographic metrics.

Results and Discussion

According to the results of this study on the 14 studied hillslopes, specific total erosion ranged from 0.93 to 7.52 t $ha^{-1}yr^{-1}$, while the specific total deposition ranged from 0.03 to 0.51 t $ha^{-1}yr^{-1}$. These findings indicated that a significant percentage of erosion had been exported from the hillslopes. Specific net erosion was also calculated between 0.79 and 7.45 t ha^{-1} yr^{-1}, which indicates the sediment delivery ratio between 0.84 and 1.00 for the investigated hillslopes. The results indicate that the correlation between erosion (total and net) and sediment delivery ratio with slope angle, topographic factor, and stream power index is significant and negative. These findings indicate the dominant effect of dryland farming on increased erosion in gentler slopes and downstream areas, in the upstream regions of the slopes, although the slope was steeper, erosion was minimal due to less soil disturbance and rangeland usage. Consequently, in this study, the interpretation of relationships and regression equations utilized the results of land use and its changes along the slope profile.

Conclusion and Suggestions

The inner area of the Khamsan watershed includes a low-slope plain with the predominant land use of rainfed agriculture, which continues to parts of the surrounding steep slopes, and similar conditions can be seen in the sub-watersheds, including the control sub-watershed. The conditions of land use changes from the upstream to the downstream of the hillslopes around the rainfed lands have relatively similar. Therefore, the regression equations presented in this study are applicable in the hillslopes of the Khamsan representative paired watershed and other similar watersheds. Finally, it is suggested to extract topographical metrics using digital height models with different spatial accuracies and use them in estimations. It is also recommended that a land management plan be developed for the studied area, taking into account the significant role of land use in erosion and sediment production, with adjustments and land use changes implemented based on the potential of each section.

Key words: **Net erosion, sediment delivery ratio, slope curvature, soil redistribution, topographic wetness index**

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.

Author's Contribution

Reza Zarei: Formal analysis and investigation, Resources, Writing - original draft preparation.
Abdulvahed Khaledi Darvishan: Conceptualization, Supervision, Methodology, Formal analysis and investigation, Writing - manuscript editing.
Mohamad Reza Zare: Supervision, Methodology, Formal analysis and investigation.
Paolo Porto: Supervision, Methodology, Formal analysis and investigation.

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

کاربست چارچوب مدیریت بحران سیل در استان البرز با تأکید بر شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی راهکارها

اردشیر مصباح [۱]، اسماعیل کرمی‌دهکردی [۲*]، علی توحیدلو [۳]، امین صالح‌پور جم [۴]، توفیق سعدی [۵]

۱- دانشجوی دکتری توسعهٔ کشاورزی، گروه ترویج، ارتباطات و توسعهٔ روستایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- دانشیار ترویج کشاورزی و توسعهٔ روستایی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استادیار گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴- دانشیار پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۵- دکتری اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دبیر کمیتهٔ تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای استان البرز

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

پدیدهٔ سیل، پیوسته به‌عنوان یک تهدید بزرگ برای بیشتر مردم جهان مطرح‌بوده است. امروزه، در سطح جهان این پدیده به‌شکل ملموسی افزایش‌یافته است. از سوی دیگر، تغییر اقلیم سبب افزایش تعداد، شدت و بزرگی این گونه رویدادها شده است. خسارت‌های سیل جبران‌ناپذیر و پیش‌بینی‌نشده است. کشورهای آسیایی، چون کشورهای خاورمیانه، نقاط پرخطری هستند که نسبتاً زیاد در معرض سیل و زلزله و خسارت‌های ناشی از آن‌ها هستند. در دهه گذشته، کشور ایران با سیل‌های ناگواری روبرو بوده است. استان البرز، یکی از استان‌های ایران است که آسیب‌های زیادی از سیل متحمل‌شده است. در اثر سیل‌های دهۀ گذشته در این استان، حداقل ۱۲ نفر کشته، صدها نفر مجروح و ۴/۰۷۶/۳۳۳ میلیون ریال خسارت مالی گزارش‌شده است. افزایش آمار سیلاب و خسارت‌های ناشی از آن، نیازمند شناسایی راهکارهای مؤثر مدیریت سیل است. از این رو، هدف این پژوهش، تحلیل و کاربست چارچوب مدیریت بحران سیل در استان البرز با تاکید بر شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی راهکارها بود.

مواد و روش‌ها

روش استفاده‌شده در این پژوهش از دیدگاه راهبردی، یک روش‌شناسی توصیفی-اکتشافی بود و ماهیت و رویکرد این پژوهش، رویکرد ترکیبی کمی-کیفی بود.

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی:** e.karamidehkordi@modares.ac.ir
استناد: مصباح، ا.، کرمی‌دهکردی، ا.، توحیدلو، ع.، صالح‌پور جم، ا.، سعدی، ت. ۲۰۲۵. کاربست چارچوب مدیریت بحران سیل در استان البرز با تأکید بر شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی راه‌کارها. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸ (۲): ۱۶۰-۱۳۹.
شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2025.367812.1605
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۱۰/۰۵، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های۱۳۹ تا ۱۶۰.
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس
© نویسندگان
CC BY

در رویکرد کیفی، داده‌ها با مصاحبه و تشکیل کارگروه خبرگان گردآوری شدند و در رویکرد کمی، داده‌ها با پرسش‌نامهٔ تهیه‌شده به‌وسیلهٔ پژوهشگر جمع‌آوری شدند. پاسخ‌های به‌دست آمده از مصاحبه و گروه متمرکز خبرگان با سوالات باز پاسخ، به‌شیوه تحلیل مضمون و با استفاده از نرم‌افزار $NVIVO_{12}$ تحلیل شدند. در این راستا، مفاهیم، مقوله‌ها و مضمون‌های مرتبط در فرایند کدگذاری استخراج و طبقه‌بندی شدند. سپس، با استفاده از مؤلفه‌های به‌دست آمده، پرسش‌نامه کمی به‌وسیلهٔ پژوهشگر تهیه شد و دوباره با استفاده از نمونهٔ آماری پژوهش، تکمیل شد. برای تعیین اندازهٔ اهمیت هر یک از مؤلفه‌ها، آزمون فریدمن با استفاده از نرم‌افزار $SPSS_{24}$ انجام شد. همچنین، رتبه‌بندی و تعیین اهمیت و اولویت مؤلفه‌های مدیریت بحران سیل در استان البرز انجام شد.

نتایج و بحث

براساس یافته‌های این پژوهش، میانگین سنی نمونهٔ آماری پژوهش، ۵۰/۲ سال بود و تمام مشارکت‌کنندگان و پاسخگویان، متأهل بودند. همچنین، میانگین سابقهٔ کاری این افراد ۲۱/۷ سال بود و بیشتر آن‌ها (۵۵/۱٪)، مدرک دکتری تخصصی داشتند که از دیدگاه رشته تحصیلی، بیشترین فراوانی در میان رشتهٔ تخصصی نمونهٔ آماری پژوهش، رشته آبخیزداری با فراوانی ۲۲/۵٪ بود. یافته‌های این پژوهش بیانگر آن بود که در مدیریت بحران سیل بیشترین اندازهٔ اهمیت در رتبه‌بندی آزمون فریدمن در گام کاهش خطر، راهبرد توسعهٔ سازه‌های آبخیزداری و آبخوانداری با میانگین رتبهٔ ۳۱/۵۷، در گام آمادگی، راهبرد انسجام و هماهنگی سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران سیل با میانگین رتبه ۷/۶۸، در گام واکنش، راهبرد استقرار سریع نیروهای امدادی-امنیتی در زمان رخداد بحران سیل با میانگین رتبه ۲/۹۶ و در گام بازیابی نیز راهبرد ساماندهی و اصلاح مسیر رودها با میانگین رتبه ۶/۴۳ بودند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های این پژوهش نشان داد که برای دستیابی به مدیریت موفق بحران سیل در سطح استان البرز، و تسهیل ایجاد یک حکمرانی یکپارچه و فراگیر با حضور سودبران گوناگون در تصمیم‌گیری‌ها، نیاز به ایجاد یا بهبود ساختار سازمانی همراه با هماهنگی قوی میان سودبران گوناگون در یک سازمان واحد قدرتمند یا میان چند سازمان صاحب نفوذ مهم است. در این راستا، نقش سازمان‌هایی چون وزارت نیرو و سازمان منابع‌طبیعی و آبخیزداری کشور در سطح ملی و شرکت‌های آب منطقه‌ای، ادارهٔ کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری، مؤسسه‌های پژوهشی و دانشگاهها در سطح استان مهم است. ازاین‌رو، نشست‌های هماهنگی و گفتمان میان آنها به‌همراه مشارکت دیگر سودبران مهم (جوامع محلی)، منجر به تقویت مدیریت و تصمیم‌گیری سازگارانه و تاب‌آورانه خواهد شد. بر پایهٔ نتایج این پژوهش مشخص شد که برای بهبود فرآیند مدیریت بحران، حکمرانی مشارکتی، ایفای نقش تمام سودبران در سیاست‌گذاری‌ها و ایجاد کمیته‌های محلی به‌منظور مشورت و تصمیم‌گیری و تدوین راه‌حل‌های بلندمدت و پایدار برای مقیاس‌های گوناگون زمانی و مکانی، و سرانجام تغییر نگرش نسبت به انجام اقدامات مدیریتی (غیر سازه‌ای) در کنار اقدامات سازه‌ای (فنی-مهندسی) ضروری است.

واژگان کلیدی

تاب‌آوری، حکمرانی، روش آمیخته، رویکرد یکپارچه، سیل، مدیریت بحران

مقدمه

کشورهای در حال توسعه و کشورهای توسعه‌یافته، پیوسته با خطر سیل روبرو هستند (زو و همکاران ۲۰۱۲). تجزیه و تحلیل پیش‌بینی خطرات سیل در آینده، نشان داد که اثر فزایندهٔ تغییر اقلیم همراه با نبود آمادگی ناکافی بسیاری از مناطق جهان در برابر رخداد سیل، احتمالاً منجر به خسارت‌های کم‌سابقه‌ای خواهد

شد (کرمی دهکردی و همکاران ۲۰۲۳؛ ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). خسارت‌های جبران‌ناپذیر و پیش‌بینی‌نشدهٔ سیل به‌شکل خسارت‌های اقتصادی و غیراقتصادی طبقه‌بندی می‌شود. آسیب‌های اقتصادی شامل نابودی ساختمان‌ها، مزارع، باغ‌ها و محصولات کشاورزی، سامانه‌های راه و حمل و نقل، زیرساخت‌ها، بوم‌نظام‌های زیست‌محیطی شده، و سبب تلفات انسانی و اموال می‌شود. خسارت‌های غیراقتصادی نیز بار عاطفی منفی و بزرگی بر جامعهٔ آسیب‌دیده تحمیل می‌کند (هنس و همکاران ۲۰۱۸؛ منور و همکاران ۲۰۲۱).

افزایش رخداد سیل با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم مرتبط است. هر دو عامل برای درک رخداد سیل بسیار مهم هستند (یو و همکاران ۲۰۱۷). گسترش مناطق مسکونی منجر به توسعه جوامع در نواحی ساحلی و آبخیز رودها شده است. این مناطق به‌شکل طبیعی با خطر سیل روبرو هستند. افزون بر این، کاربری زمین و تغییرات آن از جمله عامل‌های مهم تعیین‌کنندهٔ شدت سیل و جریان آن هستند (یوشیدا و همکاران ۲۰۱۹). اثرات سیل پیوسته مشکلات اجتماعی-اقتصادی، آسیب‌پذیری ساختارهای انسانی و بوم‌نظامی در مناطق روستایی را به‌شکل قابل توجهی آشکارکرده است (هیات میان دولتی تغییرات آب و هوا ۲۰۱۴). چونکه مناطق روستایی غالباً با سطح فقر بیشتر، وابستگی بیشتر به بخش کشاورزی، دسترسی محدود به خدمات، زیرساخت‌های فیزیکی ناکافی و توجه محدود بیشتر مقامات دولتی روبه‌رو هستند (کارلوپاوسی و همکاران ۲۰۲۰؛ پاپروتنی و همکاران ۲۰۱۸؛ مصباح و همکاران ۲۰۱۸).

از دیدگاه پهنه‌بندی خطرات سیل، کشورهای آسیایی نقاط پرخطری هستند که نسبتاً زیاد در معرض سیل و زلزله می‌باشند (چاپی و همکاران ۲۰۱۷؛ هنس و همکاران ۲۰۱۸). در آسیا، بیش از ۹۰٪ از تلفات انسانی ناشی از بلاهای طبیعی سیل است (چانگ و چن ۲۰۱۶؛ ون تان ۲۰۱۷). در دهه گذشته، کشور ایران با سیل‌های ناگواری روبرو بوده است و دلیل آن اثرات تغییرات اقلیم، و افزون بر آن مدیریت ضعیف آبخیز (مانند جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد، اجرا نشدن طرح‌های آبخیزداری و ...) است (خسروی و همکاران ۲۰۱۶). ایران در سال‌ها کنونی، متحمل تلفات بی‌سابقه در ۲۵ استان از ۳۱ استان کشور شده است که نتیجه آن بیش از ۷۷ تلفات انسانی و ۲/۲ میلیارد دلار خسارت به دارایی‌های دولتی و بخش خصوصی است (سازمان مدیریت بحران کشور ۲۰۲۳). استان البرز، یکی از استان‌های ایران است که آسیب‌های زیادی از سیل متحمل‌شده است. در این استان بر اثر سیل‌های دهه گذشته، حداقل ۱۲ نفر کشته، صدها نفر مجروح و ۴۰۷۶۳۳۳ میلیون ریال خسارت مالی گزارش‌شده است (مدیریت بحران البرز ۲۰۲۴). اگرچه خطرات سیل اجتناب ناپذیر و تا حد زیادی خارج از اختیار و مهار انسان است، اما شیوه‌های مدیریتی سیل می‌تواند اثرات ویرانگر سیل را با راهکارهایی چون پیش‌بینی خطر، کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری، کاهش دهد (کورگیالاس و کاراتزاس ۲۰۱۱؛ سرحدی و همکاران ۲۰۱۲؛ تهرانی و همکاران ۲۰۱۵؛ بویی و همکاران ۲۰۱۸؛ چوبین و همکاران ۲۰۱۹؛ تاین بویی و همکاران ۲۰۱۹). در راستای مدیریت بحران سیل، رویکردهای متفاوتی وجود دارد؛ رویکرد سازه‌ای یا فنی-مهندسی با ایجاد سدهای آبگیر، اقدامات آبخیزداری با احیای مناطق جنگلی و پوشش گیاهی، لایروبی رودها (تمپلز ۲۰۱۶) و رویکرد غیرسازه‌ای با ابزارهایی چون حکمرانی، برنامه‌ریزی، مدیریت زمین و اقدامات طبیعی یا راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت[1](مصباح و همکاران ۲۰۲۴)، وجود دارد. در این راستا، مطیعی‌لنگرودی و همکاران (۲۰۱۵) نقش مدیریت مشارکتی در کاهش آثار سیل در روستاهای آبخیز رود زنگمار ماکو، را بررسی کردند و دریافتند که از دیدگاه مسئولان، بسترهای اجتماعی، بسترهای اقتصادی و زیرساختی در رتبه‌های اول تا سوم بودند. اما از دیدگاه مردم روستایی، جایگاه بسترهای زیرساختی به جایگاه اقتصادی تغییر یافت. همچنین، هر دو گروه روستاییان و مسئولان، به مشارکت در دوره قبل از رخداد سیل باور داشتند که

1- Nature Based Solutions (NBS)

این موضوع بیانگر اهمیت پیشگیری و مدیریت خطر رویارویی با سیلاب است.

طهماسبی و محمدی (۲۰۲۱) مراحل مدیریت بحران رخداد سیلاب در شهر ایلام را از دیدگاه گروه‌های سودبر شهری، ارزیابی کردند و دریافتند که متغیرهای چندپارچگی مدیریت و آسیب‌پذیری، با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند. این پژوهشگران نبود مدیریت کالبدی و فقدان اجرایی‌شدن و بازآفرینی پایدار بافت‌های فرسوده شهری را به‌عنوان عامل‌های نامطلوب با میانگین پایین نظری معرفی کردند. همچنین شواهد موجود در این پژوهش نشان داد که عملکرد، محدودهٔ اختیارات و بینش راهبردی سازمان‌های مدیریت بحران، پاسخگوی مقابله احتمالی با بحران سیل نخواهند بود. زیب‌ارزانی و همکاران (۲۰۲۲) با تلفیق تحلیل شبکه‌های اجتماعی و تصمیم‌گیری چندمعیاره برای رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت بحران سیلاب، دریافتند که رویکرد سازگار با محیط‌زیست، در مدیریت و کاهش خطرات سیلاب از مهم‌ترین عامل‌های قابل توجه برای کارشناسان بود. این یافته بیانگر حرکت متخصصان از اتکای صرف به رویکرد مقاومتی و سازه‌ای به‌سوی رویکرد سازگار برای در نظر گرفتن نبود قطعیت‌ها به‌ویژه اثرات تغییر اقلیم است. رجایی و همکاران (۲۰۲۳) الگوی مناسب مدیریت بحران سیلاب شهر ایلام، را بررسی کردند و دریافتند که در شهرهای کمتر توسعه‌یافته و نقاط شهری محروم کشور ایران، چنانچه وضعیت موجود نظام مدیریت بحران آن سنتی باشد، بر پایه نظریه تدوینی مکاتب رفتاری و ساختاری مطابق واقعیت، می‌توان یک الگوی مناسب مدیریت بحران سیلاب را ارائه داد. بلستانوا[2] و همکاران (۲۰۱۴) با آماده‌سازی داده‌ها برای مدل‌سازی لجستیک مدیریت بحران سیل، دریافتند که دسترسی به داده‌های مناسب از اهمیت فراوانی دارد. همچنین، این ساختار مدیریت بحران، طیف گسترده‌ای از اطلاعات را با تحلیل فضایی معمولی و خاص که نیاز واحدهای عملیاتی بود، را ارایه داد. کوراک و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی چشم‌انداز عملیاتی مدیریت بحران سیل نتیجه گرفتند که برای هماهنگی وظایف و امور گوناگون، مدیریت بحران باید حول یک زنجیره فرماندهی عملیاتی سازماندهی شوند. در این چارچوب، واکنش عملیاتی به سیل باید با پیشگیری، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی انجام شود و آگاهی‌های لازم باعث آسان شدن تصمیم‌گیری و ساز و کارهای عملیاتی مناسب برای سازمان‌دهی سریع هر بحران خواهد شد. استعلاجی و همکاران (۲۰۲۳) با پهنه‌بندی سیل و توسعهٔ راهبردهای افزایش تاب‌آوری در برابر سیل با رویکرد مدیریت بحران، گزارش کردند که شرایط اقلیمی و محیطی رودها، دخل و تصرف و ایجاد منازل و ساخت و ساز در آبخیز، رخداد سیل و نبود دقت در مکان‌یابی سازه‌ها، چالش‌های فراوانی را در مراحل گوناگون مدیریت بحران ایجادکرده است. صدکو و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی مدل‌های آب‌شناختی استفاده‌شده در مدیریت سیل‌های ناگهانی در سطوح فیزیکی، جغرافیایی و مدیریت بحران، دریافتند که عامل‌های محدودکننده چون پیچیدگی رویکرد مدل‌سازی، پیش‌بینی‌های ناکافی در راستای عملیاتی شدن مدل‌های پیشنهادی و پیامدهای مالی این مدل‌ها، وجود دارد. همچنین، روش‌های استفاده‌شده در پیش‌بینی به‌ویژه ترکیب یادگیری ماشینی و نیازهای نهایی کاربران در راستای مدیریت بحران، سبب تجدید نظر در برنامه‌ریزی‌ها شده است. در شرایطی که دخالت‌های انسانی در ساختارهای طبیعی، به‌ویژه اقدامات سازه‌ای، بیشتر در کاهش پدیدهٔ سیل و خطرات آن تأثیرگذار بوده‌اند، اما از سوی دیگر، مسبب بیشتر پاسخ‌های منفی اقتصادی، اجتماعی و بوم‌نظامی نیز بوده‌اند (اچل و موکرجی ۲۰۱۹؛ دادسون و همکاران ۲۰۱۷؛ ابینگر و همکاران ۲۰۰۸؛ هیوز ۱۹۹۷؛ روبیناتو و همکاران ۲۰۱۹؛ سولوشنز ۲۰۱۵). ازاین‌رو، در اروپا و آمریکای شمالی، چارچوبی شامل مراحل کاهش خطر، آمادگی، واکنش و بازتوانی برای مدیریت بحران سیل اعمال می‌شود (شکل ۱).

2- Blistanova

شکل ۱- چارچوب مدیریت بحران (لو کوزانت ۲۰۲۰؛ کرمی‌دهکردی ۱۳۹۸).

Figure 1- Crisis Management Framework (LeCouzant 2020; KaramiDehkordi 2019).

این چارچوب شامل ۴ گام زیر است:

الف- کاهش خطر[3] به محدودکردن اثرات نامطلوب خطرات و بلاهای مرتبط گفته می‌شود. از آنجایی که نمی‌توان به‌طور کامل از اثرات نامطلوب خطرات جلوگیری کرد، اما مقیاس و یا شدت آنها را می‌توان با خط مشی و اقدامات گوناگون کاهش داد. بهترین گزینه برای کاهش احتمال خطر، پیشگیری بحران است. اقدامات کاهش خطرپذیری شامل روش‌های مهندسی و مقاوم‌سازی ساخت و سازها در برابر خطر، بهبود سیاست‌های محیط‌زیستی و آگاهی عمومی می‌باشد (دفتر کاهش خطر بلاهای سازمان ملل متحد[4]۲۰۰۷)

ب- آمادگی[5]به دانش و ظرفیت‌های توسعه‌یافته جوامع محلی، سازمان‌های مردمی و دولت‌ها در پیش‌بینی اثرات زودهنگام پدیده‌های پر خطر برای مقابله حرفه‌ای و سازمان دادن بازسازی جوامع و افراد، می‌گویند. آمادگی در چارچوب مدیریت خطر بلاها انجام می‌شود و هدف آن ارتقای ظرفیت‌های لازم برای مدیریت مؤثر تمام انواع شرایط اضطراری و دستیابی به حالت منظم با مقابله تا بازیابی ماندگار است. آمادگی بر پایه تحلیل خطرات بلاها و ارتباط با ساختارهای هشداردهنده است و شامل فعالیت‌هایی چون برنامه‌ریزی احتمالی، انباشت تجهیزات و لوازم، توسعه ملزومات برای هماهنگی، تخلیه و آگاه‌سازی عمومی، و همراه با آموزش و تمرین است (جویس و همکاران ۲۰۰۹).

ج- واکنش[6] به مقابله، پاسخ یا واکنش به شرایط اضطراری و ارائه خدمات اضطراری و عمومی به مردم برای نجات جان مردم، کاهش مشکلات بهداشتی، اطمینان از ایمنی عمومی و رفع نیازهای اساسی امرار معاش مردم تحت تأثیر، در طول و یا بلافاصله پس از یک بحران، می‌گویند. مقابله بلاها بیشتر بر نیازهای فوری و کوتاه مدت متمرکز است و گاهی اوقات به برخی از اقدامات لازم امدادرسانی نیز گفته می‌شود (میراحسنی و سلمان‌ماهینی ۲۰۱۸).

د- بازیابی[7] به ترمیم و بازیابی امکانات، معیشت و شرایط زندگی جوامع تحت تأثیر بلاها (تلاش برای کاهش عامل‌های خطر بلاها) بازیابی می‌گویند. وظیفه گام بازیابی، توانبخشی و بازسازی است که به‌محض پایان گام اضطراری شروع می‌شود و باید بر اساس راهبردها و سیاست‌های از قبل تعیین‌شده باشد که مسئولیت‌های نهادی شفاف را برای عمل بازیابی، آسان‌کرده و مشارکت عمومی را امکان‌پذیر می‌کند. مرحلهٔ بازیابی، فرصت ارزشمندی برای توسعه و پیاده‌سازی اقدامات کاهش خطر بلاها برای کاربرد اصل ساخت بهتر از قبل، بعد از بلاها فراهم می‌کند (صدکو و همکاران ۲۰۲۴).

چارچوب مدیریت بحران سیل، به عامل‌های گوناگونی چون شرایط جغرافیایی، مسائل اداری، فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و ... بستگی دارد. در دیگر کشورهای جهان، این چارچوب به‌عنوان یکی از محرک‌های تغییر از رویکرد سازه‌ای به رویکرد مدیریت یکپارچه سیل، است. مدیریت یکپارچه سیل مبتنی بر اقدامات غیرسازه‌ای است و پیوسته در سراسر جهان برای مقابله با خطرات سیل در حال گسترش است. اما، به‌رغم نیاز

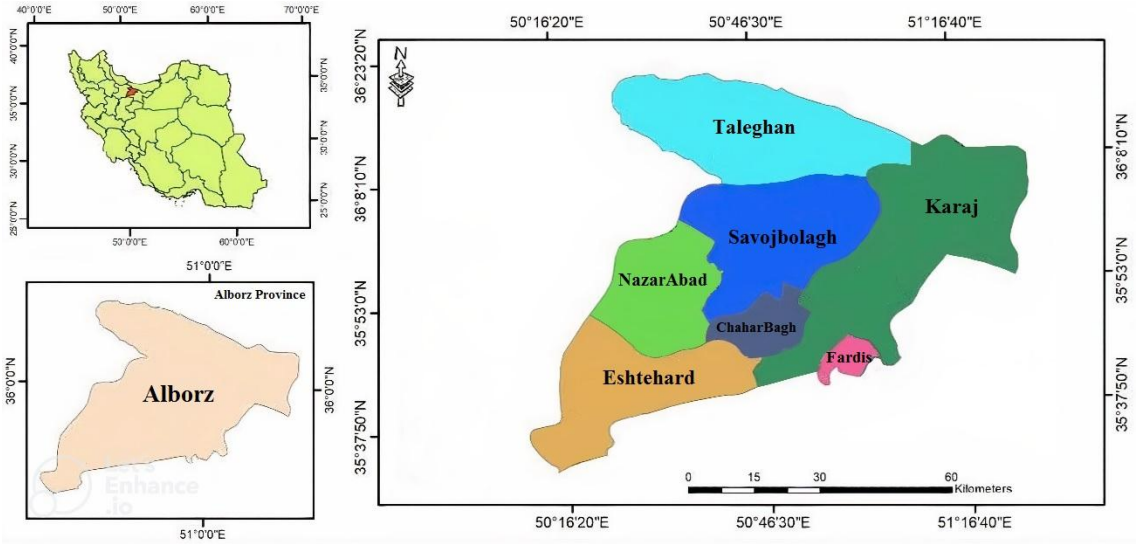
3- Mitigation
4- United Nations Office for Disaster Risk Reduction
5- Preparedness
6- Response
7- Recovery

شدید به اجرای مدیریت غیرسازه‌ای سیل، تاکنون اقدامات کمی برای طراحی مدیریت سیل بر اساس اینگونه اقدامات انجام‌شده است (استورک و همکاران ۲۰۱۴؛ تالر و هارتمن ۲۰۱۶؛ ویرینگ و همکاران ۲۰۱۷؛ بوبک و همکاران ۲۰۱۷؛ جونگمن ۲۰۱۸؛ کوندزویچ و همکاران ۲۰۱۸). ازاین‌رو، این پژوهش با هدف شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی راه‌کارها بر اساس مراحل چهارگانهٔ کاهش خطر، آمادگی، واکنش و بازیابی در استان البرز به‌منظور مدیریت بحران سیل در استان البرز انجام شد. همچنین، تاکنون تمام پژوهش‌ها به‌شکل تک شیوه‌ای (کمی یا کیفی) انجام شده‌اند، اما در این پژوهش از شیوهٔ ترکیبی و برای نخستین بار در استان البرز استفاده شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

استان البرز در ۲۰ کیلومتری غرب تهران و از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان مرکزی، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان تهران محدود می‌شود. مرکز این استان؛ شهر کرج است که از دیدگاه جغرافیایی در′۵۱°۳۵ شرقی و ′۳۵°۴۹ غربی است. بلندی آن از سطح دریا ۱۳۶۰ متر است. این استان در جنوب بلندی‌های البرز مرکزی است و تغییرات بلندی در آن زیاد است. ازاین‌رو، آب و هوای استان متأثر از عامل بلندی است (سند پژوهش‌های آمایش استان البرز ۲۰۱۹). در این استان هفت شهرستان (کرج، ساوجبلاغ، چهارباغ، طالقان، نظرآباد، فردیس و اشتهارد)، ۱۴ شهر، ۱۱ بخش، ۲۲ دهستان و ۳۵۶ آبادی وجود دارد. این استان بیش از ۲۷۰۲۲۷ واحد مسکونی روستایی، ۶۲/۹۹۵ خانوار با سکونت دائمی و ۱۱۹/۵۵۹ نفر جمعیت روستایی دارد (مرکز آمار ایران، ۲۰۱۶). استان البرز به‌دلیل نزدیکی به پایتخت و وجود مناطق مستعد کشاورزی، صنعتی و بازرگانی، جایگاه مهمی در برنامه‌ریزی‌های کشور دارد. ازاین‌رو، به‌عنوان منطقهٔ پژوهشی انتخاب شد. تقسیم‌بندی و موقعیت جغرافیایی استان البرز در شکل ۲ نشان‌داده شده است.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی استان البرز.

Figure 2- Geographical location of the Alborz Province.

روش پژوهش

روش استفاده شده در این پژوهش از دیدگاه راهبردی، توصیفی و از دیدگاه هدف، کاربردی بود. در این پژوهش تلاش شد تا برای مدیریت بحران سیل در استان البرز، راهکارهای مقابله با بحران سیل شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی شوند تا به جوامع کشاورزی و روستایی این استان کمک شایانی شود. همچنین، مسیر اجرای این

پژوهش به‌شکل ترکیبی یا آمیخته[8]بود. دلیل اصلی بهره‌گیری از این روش، استفاده از رویکردهای کمی و کیفی به‌شکل آمیخته بود که در مقایسه با استفاده از یک رویکرد واحد (کمی یا کیفی) درک بهتری از مسئله ارائه می‌شود (دلاور و کوشکی، ۲۰۱۹؛ پزشکی‌راد و کرمی‌دهکردی ۲۰۱۲). روش کیفی این پژوهش با مصاحبه با کارشناسان و متخصصان و روش کمی آن به‌وسیله جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از پرسش‌نامهٔ تهیه‌شده به‌وسیلهٔ پژوهشگر انجام شد. در گام نخست، تعداد نمونه با روش گلوله‌برفی انتخاب شد و با آنها مصاحبه شد. مصاحبه به‌شکل نیمه ساختاریافته با اولین مشارکت‌کنندهٔ آغاز شد و همزمان با جمع‌آوری و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از مصاحبه، مشارکت‌کنندهٔ بعدی انتخاب شد تا پس از دریافت اشباع نظری[9] مصاحبه در این گام متوقف شود کاراسکوزا ۲۰۱۸). تعداد نمونهٔ آماری پژوهش، ۴۹ نفر تعیین شد که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول ۱- تعداد و ترکیب کارشناسان خبره ادارات و سازمان‌های گوناگون در تیم خبرگانی پژوهش

Table 1- The number and composition of expert experts from different departments and organizations in the research expert team

Organization	Number (Person)
Research Institute of Soil Protection and Watershed Management	11
General Directorate of Natural Resources and Watershed Management	6
Crisis Management Department of Alborz Province	5
Department of Rural Affairs and Councils of the Alborz Province	3
Regional water of the Alborz province	12
Alborz Province Agricultural Jihad Organization	4
Faculties of the Faculty of Agriculture all over the country	3
Agricultural research, education and extension organization	2
Department of Natural Resources and Watershed Management of the Alborz Province	3
Total	**49**

برای تحلیل داده‌های کیفی گردآوری‌شده، پاسخ‌های به‌دست آمده از مصاحبه با کارگروه خبرگانی با استفاده از نرم‌افزار Nvivo12 و به‌شیوه تحلیل مضمونی؛[10] راهبردهای مدیریت بحران سیل استخراج شد (ویلیگ و راجرز ۲۰۱۷). سپس، در رویکرد کمی پژوهش، پس از استخراج مؤلفه‌های ثانویه به‌وسیلهٔ گروه پژوهش، پرسش‌نامه تهیه شد و براساس طیف پنج طبقه‌ای لیکرت (خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد)، برای سنجش اندازهٔ اهمیت هر یک از مؤلفه‌های تشکیل‌شده، میان نمونهٔ خبرگانی پژوهش توزیع شد. روایی پرسش‌نامه به‌وسیلهٔ اساتید هیأت علمی دانشگاه‌ها تأیید شد و پایایی آن با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ (رابطهٔ ۱) برای قابلیت اعتماد ابزار اندازه‌گیری، محاسبه شد.

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1-\frac{\sum_{i=1}^{k} S_i^2}{S_t^2}\right) \qquad (۱)$$

K: تعداد گویه‌ها، S_i^2: پراکنش نمره‌های مربوط به گویهٔ شمارهٔ jام و S_t^2: پراکنش جمع نمره‌های هر پاسخگو (پراکنش کل گویه‌ها) است (منصورفر ۲۰۰۶). پس از انجام آزمون سنجش پایایی پرسش‌نامه، ضریب آلفای کرونباخ هر رویکرد به‌دست آمد (جدول ۲).

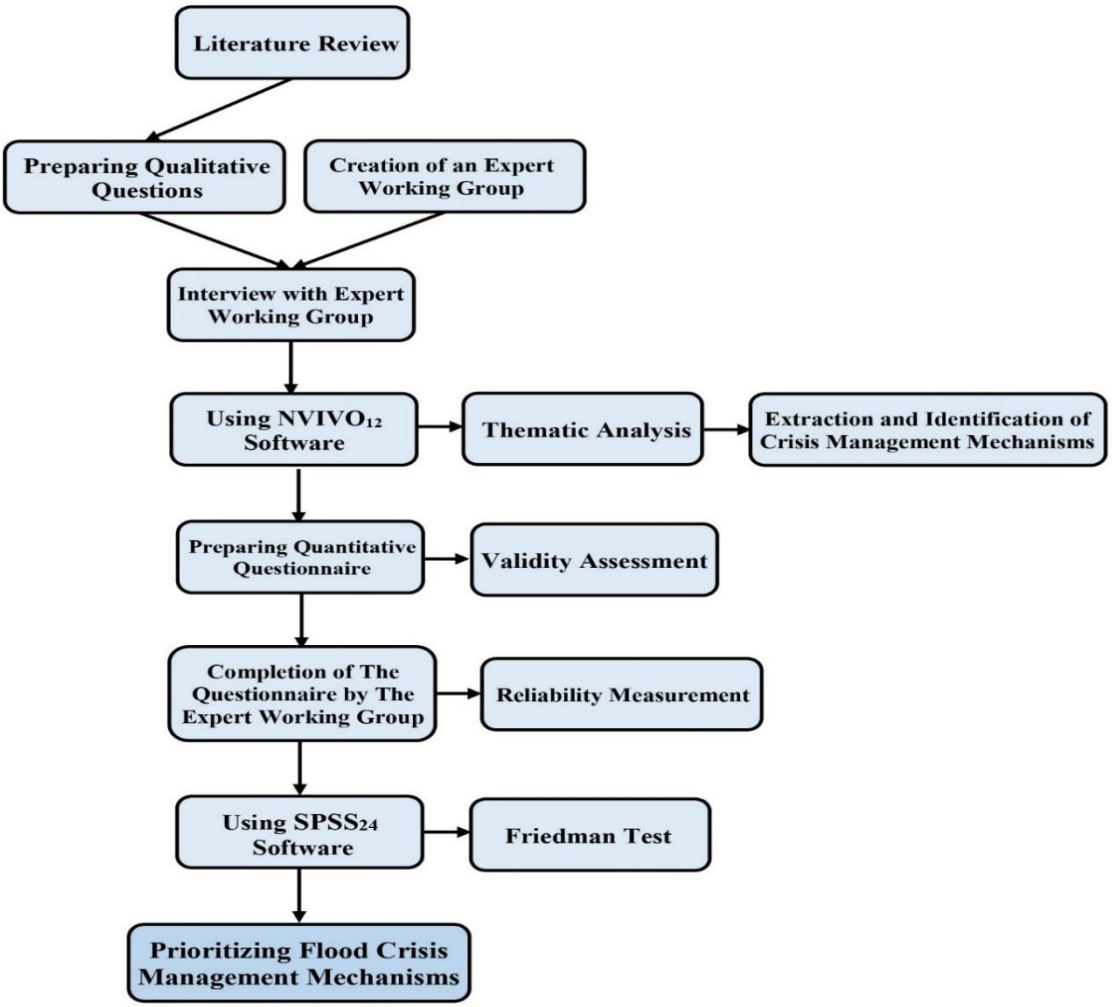
8- Mixed Methods
9- Theoretical Saturation
10- Thematic Analysis

جدول ۲- پایایی بخش‌های گوناگون پرسش‌نامهٔ پژوهش.

Table 2- Reliability of different phase of the research questionnaire.

Phase	Number of Items	Cronbach's Alpha
Mitigation	40	97%
Preparedness	12	96%
Response	4	86%
Recovery	9	92%

پس از جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پرسش‌نامه، نتایج تحلیل و بررسی شد. برای تحلیل داده‌های کمی رتبه‌بندی گویه‌ها انجام شد. به‌دلیل ترتیبی بودن و مستقل بودن داده‌ها، برای انتخاب آن‌ها از یک گروه واحد، از آزمون فریدمن استفاده شد. همچنین، تجزیه پراکنش دوطرفه با رتبه‌بندی انجام شد. مقایسهٔ میانگین رتبه‌بندی گروه‌های گوناگون (پزشکی‌راد و کرمی‌دهکردی ۲۰۱۲) با بهره‌گیری از نرم‌افزار $SPSS_{24}$ انجام شد. روند نمای مراحل پژوهش در شکل ۳ ارائه‌شده است.



شکل ۳- روند نمای مراحل پژوهش.

Figure 3- Conceptual model of research stages.

ویژگی‌های فردی پاسخگویان

بررسی ویژگی‌های فردی پاسخگویان نشان داد میانگین سن افراد بررسی‌شده، ۵۰/۲ سال با انحراف معیار ۸/۳ بود. تمام خبرگان نمونهٔ آماری، متأهل بودند. میانگین سابقهٔ کار افراد، ۲۱/۷ سال با انحراف معیار ۹/۴ بود. مدرک تحصیلی ۱۰/۲٪ افراد کارشناسی، ۳۴/۷٪ افراد کارشناسی‌ارشد، ۵۵/۱٪ افراد دکتری تخصصی بودند. ازاین‌رو، از دیدگاه سطح تحصیلات بیشترین فراوانی مربوط به افراد با سطح تحصیلات دکتری و کمترین فراوانی مربوط به افراد با مدرک تحصیلی کارشناسی بود. همچنین، بیشترین فراوانی رشته تحصیلی (آخرین مقطع تحصیلی) در میان نمونهٔ آماری پژوهش، مربوط به رشته آبخیزداری با ۲۲/۵٪ فراوانی، بود. ویژگی‌های فردی خبرگان نمونه آماری، در جدول ۳ آورده‌شده است.

جدول ۳- ویژگی‌های فردی خبرگان نمونهٔ آماری

Table 3- Personal characteristics of the experts in the statistical sample.

		Abundance	Abundance Percentage	Mean	Standard Deviation	Mode
Sex	Man	41	83.7	-	-	Man
	Woman	8	16.3			
	Total	49	100			
Age	Under 40 years	9	18.3	50.2 Years	8.3	56 Years
	41 to 50 years	17	34.7			
	51 to 60 years	19	38.8			
	61 years and above	4	8.2			
	Total	49	100			
Marital Status	Single	0	0	-	-	Married
	Married	49	100			
	Total	100	100			
Work History	Under 10 years	10	20.4	21.7 Years	9.4	26 Years
	11 to 20 years	14	28.6			
	21 to 30 years	15	30.6			
	Over 30 years old	10	20.4			
	Total	49	100			
Education	Bachelor	5	10.2	-	-	Ph.D
	Master's degree	17	34.7			
	Ph.D	27	55.1			
	Total	49	100			
Field of Study	Civil Engineering	7	14.3	-	-	Watershed Management
	Watershed Management	11	22.5			
	Water Engineering	9	18.3			
	Geography and Climatology	7	14.3			
	Geology	4	8.2			
	Soil science	5	10.2			
	Agricultural Development and Extension	6	12.2			
	Total	49	100			

راهبردهای مؤثر بر مدیریت سیل در استان البرز

راهبردهای تعیین‌شده به‌وسیلهٔ مصاحبه با کارگروه خبرگانی پژوهش و براساس گام‌های چهارگانهٔ چارچوب مدیریت بحران، در جدول ۴ طبقه‌بندی‌شده است. باید توجه داشت هر یک از مؤلفه‌های جدول ۴ ممکن است در یک یا چند طبقه دیگر نیز باشند. اما، در طبقه‌بندی‌ها، راهبردها از دیدگاه تیم پژوهش در مرتبط‌ترین دسته هستند.

جدول ۴- راهبردهای مؤثر بر مدیریت سیل در استان البرز بر اساس چارچوب مدیریت بحران.

Table 4- Effective strategies for flood management in the Alborz Province based on the crisis management framework.

Code	Mitigation	Code	Preparedness
M_1	Evaluation and determination of appropriate agricultural exploitation systems in the basin	P_1	Flood warning educational and extension programs
M_2	Educational and extension programs for natural resource culture and skill development, etc.	P_2	Training of crisis management personnel
M_3	Scientific-customary optimization of allocation of rights to different sectors	P_3	Coordination and coordination of organizations related to flood crisis management
M_4	Development of stakeholder participation models	P_4	Use of flood warning systems
M_5	Establishment, development and updating of flood warning systems	P_5	Rapid actions at the level of basins, waterways, residential homes, farms, etc. to minimize the risk
M_6	Developing watershed and aquifer management facilities	P_6	Predicting and informing the public in advance of floods through national media and virtual networks
M_7	Formation of schemes based on plans, programs and objectives of comprehensive watershed management	P_7	Forming and training local groups for flood preparedness
M_8	Establishment of a comprehensive watershed management coordination working group	P_8	Preparing crisis management tools and equipment (equipment and preparation)
M_9	Management protection measures	P_9	Organizing crisis management personnel to be present before and during a crisis
M_{10}	Organization and observance of river boundaries	P_{10}	Training crisis management initiatives at the level of experts and managers
M_{11}	Biomechanical protection measures	P_{11}	Financial planning and budgeting
M_{12}	Modification of flood flows	P_{12}	Creating conceptual models of the crisis management process
M_{13}	Non-interference and encroachment on the boundaries and beds of waterways	**Code**	**Response**
M_{14}	Implementing agricultural productivity plans	Res_1	Rapid deployment of relief and security forces during a flood crisis
M_{15}	Identification of flood-prone areas	Res_2	Providing rapid relief services during a crisis in the field of the injured, housing and food for flood victims, etc.
M_{16}	Employment creation and alternative livelihoods	Res_3	Using tools and machinery for flood crisis management
M_{17}	Implementation of watershed management operations in the basin (rectification dams, dams, etc.)	Res_4	Rapid deployment of units with psychological services and social work
M_{18}	Management of livestock units (expansion of industrial units instead of rangeland-dependent small-scale livestock farms)	**Code**	**Recovery**
M_{19}	Implementation of flood control projects and operations on aquifers	Rec_1	Government support (financial, physical, social, service, etc.)
M_{20}	Implementation of natural resource plans in the form of a comprehensive watershed management model	Rec_2	Establishment and strengthening of support funds (facilities, insurance, etc.)
M_{21}	Construction of storage dams	Rec_3	Investigation and analysis of the cause and effect of flood zones
M_{22}	Coexistence with floods and exploitation of their capacities (such as flood agriculture)	Rec_4	Spiritual, social, psychological or work support for survivors and victims
M_{23}	Development of a rainwater harvesting system based on the right to watershed water	Rec_5	Pathology of flood occurrence
M_{24}	Protection and restoration of vegetation	Rec_6	Organization and correction of river courses
M_{25}	Conservation and restoration of biodiversity of native plant and animal species	Rec_7	Repair of damaged infrastructure
M_{26}	Population planning based on territorial capacities	Rec_8	Establishing and strengthening insurance services
M_{27}	Removal of interferences in natural resource areas	Rec_9	Restoration of vegetation through biological watershed management measures
M_{28}	Implementation of land use reform laws		
M_{29}	Implementation of building retrofitting orders		
M_{30}	Locating service centers in the event of a crisis		
M_{31}	Development of flood management infrastructure		
M_{32}	Development and encouragement of insurance of buildings and agricultural products		
M_{33}	Rangeland flooding and grazing management		
M_{34}	Implementating guidelines for respecting the privacy		
M_{35}	Preparing and implementing crisis management guidelines		
M_{36}	Management of private constructions in the riverbed		
M_{37}	Utilizing agricultural lands by risk maps Flooding		
M_{38}	Identification and zoning of upstream watersheds		
M_{39}	Improvement of waterways		
M_{40}	Ploughing perpendicular to the slope of the watersheds		

اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت بحران سیل (دیدگاه‌های خبرگان پژوهش)

نتایج تحلیل پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده به‌وسیلهٔ گروه خبرگان پژوهش، بر اساس انجام آزمون فریدمن برای اولویت‌بندی و تعیین اهمیت راهبردهای هر یک از گام‌های مدیریت بحران سیل در استان البرز (کاهش خطر، آمادگی، واکنش و بازیابی)، در جدول‌های ۵ تا ۸ ارائه‌شده است.

الف) راهبردهای گام کاهش خطر

در این گام، دامنه اندازه‌های میانگین رتبه‌ها از ۷/۰۴ تا ۳۱/۵۷ متغیر بود. نتایج رتبه‌بندی گویه‌ها مبتنی بر آزمون فریدمن بیانگر تفاوت معنی‌دار گویه‌های مؤلفه نیروی محرک در گام کاهش خطر بود. بیشترین اندازهٔ اهمیت در رتبه‌بندی این گام مربوط به راهبرد توسعهٔ سازه‌های آبخیزداری و آبخوانداری با میانگین رتبه ۳۱/۵۷ بود. این یافته با نتایج پژوهش‌های دادسون و همکاران (۲۰۱۷)؛ دبله و همکاران (۲۰۱۹)؛ هیل و همکاران (۲۰۲۳)؛ خان و همکاران (۲۰۲۱) و ون‌ری و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر اینکه به اهیمت نقش عامل توسعه زیرساخت‌های آبخیزداری در مدیریت بحران اشاره‌کرده‌اند، هم‌راستا است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود در راستای کاهش خطر سیل با تأمین بودجه کافی، به‌موقع و اجرای طرح‌های کارشناسی‌شدهٔ آبخیزداری و آبخوانداری، اقدام شود. رتبه‌بندی گویه‌های گام کاهش خطر در مدیریت بحران سیل از دیدگاه خبرگان، در جدول ۵ ارائه‌شده است. رتبه‌بندی اهمیت این گویه‌ها به‌ترتیب از بیشینه به کمینه M_6، M_{10}، M_{13}، M_{36}، M_{34}، M_2، M_{31}، M_{38}، M_5، M_{11}، M_{39}، M_{12}، M_{17}، M_{24}، M_{35}، M_{15}، M_8، M_1، M_9، M_{20}، M_{37}، M_4، M_{30}، M_{21}، M_3، M_{19}، M_{28}، M_7، M_{22}، M_{40}، M_{26}، M_{32}، M_{33}، M_{25}، M_{29}، M_{18}، M_{27}، M_{23}، M_{16} و M_{14}، بود.

جدول ۵- نتایج رتبه‌بندی راهبردهای گام کاهش خطر با استفاده از آزمون فریدمن.

Table 5- Results of ranking risk reduction stage strategies using the Friedman Test.

Code	Mean Rank	Item	Chi-square	DF	Asymp. Sig.
M_6	31.57				
M_{10}	31.11				
M_{13}	29.46				
M_{36}	27.43				
M_{34}	27.18				
M_2	25.93				
M_{31}	25.68				
M_{38}	24.54				
M_5	24.5				
M_{11}	24.14				
M_{39}	24.00				
M_{12}	23.86				
M_{17}	23.86				
M_{24}	23.82				
M_{35}	23.75				
M_{15}	23.68				
M_8	23.18				
M_1	22.11				
M_9	22.07				
M_{20}	21.93	49	578.297	39	0.000
M_{37}	20.96				
M_4	20.07				
M_{30}	19.89				
M_{21}	19.36				
M_3	18.93				
M_{19}	18.79				
M_{28}	18.36				
M_7	17.89				
M_{22}	17.57				
M_{40}	17.43				
M_{26}	17.36				
M_{32}	15.57				
M_{33}	15.29				
M_{25}	14.71				
M_{29}	14.36				
M_{18}	11.54				
M_{27}	10.96				
M_{23}	10.79				
M_{16}	9.36				
M_{14}	7.04				

ب) راهبردهای گام آمادگی

در این گام، دامنهٔ اندازه‌های میانگین رتبه‌ها از ۵/۱۸ تا ۷/۶۸ متغیر بود. نتایج رتبه‌بندی گویه‌ها مبتنی بر آزمون فریدمن بیانگر تفاوت معنی‌دار گویه‌های مؤلفهٔ نیروی محرک در گام آمادگی بود. بیشترین اندازهٔ اهمیت در رتبه‌بندی این گام مربوط به راهبرد انسجام و هماهنگی سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران سیل با میانگین رتبه ۷/۶۸ بود. این یافته با نتایج پژوهش‌های چاکرابورتی و همکاران (۲۰۲۳)؛ کونیتز و همکاران (۲۰۲۱)؛ لانگور لوکیدور و همکاران (۲۰۲۴)؛ صالح‌پورجم و مصفایی (۲۰۲۳) و تولوس و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر اینکه به اهمیت نقش انسجام سازمانی و نهادی در مدیریت بحران اشاره‌کرده‌اند، هماهنگی دارد. در استان البرز با وجود بستر مناسب و وجود ساختار دولتی، شوربختانه، موازی‌کاری‌ها و نبود بسیاری از هماهنگی‌ها به‌ویژه در سطح روستاهای

استان، مشاهده شد. می‌توان گفت اقدامات مربوط به مدیریت بحران سیل، محدود به فعالیت‌های یک ارگان ویژه نیست و سازمان‌ها و کمیته‌های گوناگونی در این راستا نقش دارند. هم‌اکنون ارگان‌هایی مانند آب منطقه‌ای، مدیریت بحران، استانداری، فرمانداری‌ها، بخشداری‌ها، جهاد کشاورزی، بنیاد مسکن، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، محیط زیست، امور اراضی و غیره که به نوعی مسئولیت مستقیم در حفاظت از منابع‌طبیعی گوناگون دارند، پرشمار بوده و پراکندگی زیاد و همزمان قدرت محدودی دارند و در چنین شرایطی اعمال مدیریت یکپارچه بحران سیل، کار دشواری است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود تا ارتباطات میان سازمان‌ها و دستگاه‌های اجرایی استان برای مدیریت بحران سیل، بیش از پیش تقویت شود. رتبه‌بندی گویه‌های گام آمادگی مدیریت بحران سیل از دیدگاه خبرگان، در جدول ۶ ارائه‌شده است. رتبه‌بندی اهمیت این گویه‌ها به‌ترتیب از بیشینه به کمینه P_3، P_4، P_9، P_8، P_1، P_{11}، P_6، P_2، P_7، P_{12} و P_{10}، بود.

جدول ۶- نتایج رتبه‌بندی راهبردهای گام آمادگی با استفاده از آزمون فریدمن.

Table 6- Results of ranking the strategies of the preparation stage using the Friedman Test.

Code	Mean Rank	Item	Chi-square	DF	Asymp. Sig.
P3	7.68	49	69.716	11	0.000
P4	7.64				
P5	7.54				
P9	7.18				
P8	6.89				
P1	6.86				
P11	6.61				
P6	6.32				
P2	5.82				
P7	5.32				
P12	5.18				
P10	4.96				

ج) راهبردهای گام واکنش

در این گام، دامنه اندازه‌های میانگین رتبه‌ها از ۱/۶۴ تا ۲/۹۶ متغیر بود. نتایج رتبه‌بندی گویه‌ها مبتنی بر آزمون فریدمن بیانگر تفاوت معنی‌دار گویه‌های مؤلفهٔ نیروی محرک در گام واکنش بود. بیشترین اندازهٔ اهمیت در رتبه‌بندی این گام مربوط به راهبرد استقرار سریع نیروهای امدادی-امنیتی در زمان بحران سیل با میانگین رتبه ۲/۹۶، بود. این یافته با نتایج پژوهش‌های دوراچین و همکاران (۲۰۱۱)؛ هینو و همکاران (۲۰۲۴)؛ کریمی‌سنگچینی و همکاران (۲۰۲۲) ؛ روبیناتو و همکاران (۲۰۱۹) و صالح‌پورجم و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر اینکه به اهمیت نقش واکنش سریع نیروهای مدیریت بحران در زمان رخداد سیل اشاره‌کرده‌اند، هم‌راستا است. ازاین‌رو، در راستای واکنش سریع به رخداد سیل، پیشنهاد می‌شود مکان‌یابی مناسب نیروهای امدادی، تجهیز، بازسازی، بهسازی و نوسازی تجهیزات امدادی و آموزش نیروها برای استفاده بهتر از زمان انجام شود. رتبه‌بندی گویه‌های گام واکنش مدیریت بحران سیل از دیدگاه خبرگان، در جدول ۷ ارائه‌شده است. ترتیب رتبه‌بندی اهمیت این گویه‌ها به‌ترتیب از بیشینه به کمینه Res_1، Res_2، Res_3 و Res_4، بود.

جدول ۷- نتایج رتبه‌بندی راهبردهای گام واکنش با استفاده از آزمون فریدمن.

Table 7- Results of ranking reaction stage strategies using the Friedman Test.

Code	Mean Rank	Item	Chi-square	DF	Asymp. Sig.
Res_1	2.96	49	54.584	3	0.000
Res_2	2.79				
Res_3	2.61				
Res_4	1.64				

د) راهبردهای گام بازتوانی

در این گام، دامنهٔ اندازه‌های میانگین رتبه‌ها از ۳/۷۹ تا ۳۱/۵۷ متغیر بود. نتایج رتبه‌بندی گویه‌ها مبتنی بر آزمون فریدمن بیانگر تفاوت معنی‌دار گویه‌های مؤلفه نیروی محرک در گام بازتوانی بود. بیشترین اندازهٔ اهمیت را در رتبه‌بندی این گام مربوط به راهبرد ساماندهی و اصلاح مسیر رودها با میانگین رتبه ۶/۴۳ بود. این یافته با نتایج پژوهش‌های بلتی و همکاران (۲۰۲۰)؛ بلوشل و همکاران (۲۰۱۹)؛ کونیتز و همکاران (۲۰۲۱)؛ پارولین و ویتمن (۲۰۱۰) و تمپلز ۲۰۱۶) مبنی بر اینکه به اهیمت نقش مدیریت رودها و آبراهه‌ها در مدیریت بحران سیل اشاره کرده‌اند، هماهنگی دارد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود برای مدیریت بحران سیل، قوانین متقن و بازدارنده وضع شوند و حریم رود و آبراهه‌ها در تمام طول مسیرشان تعریف و مشخص شوند. افزون بر آن سازه‌های تقاطعی حادثه‌ساز نیز بررسی و اصلاح شوند. رتبه‌بندی راهبردهای گام بازتوانی مدیریت سیل از دیدگاه خبرگان، در جدول ۸ ارائه‌شده است. اهیمت رتبه‌بندی این راهردها به‌ترتیب از بیشینه به کمینه Rec_6، Rec_5، Rec_1، Rec_2، Rec_7، Rec_3 و Rec_9، Rec_4 و Rec_8 بود.

جدول ۸- نتایج رتبه‌بندی راهبردهای گام بازتوانی با استفاده از آزمون فریدمن.

Table 8- Results of ranking rehabilitation stage strategies using the Friedman Test.

Code	Mean Rank	Item	Chi-square	DF	Asymp. Sig.
Rec_6	6.43				
Rec_5	5.86				
Rec_1	5.71				
Rec_2	5.29				
Rec_7	5.00	49	62.511	8	0.000
Rec_3	4.54				
Rec_9	4.54				
Rec_4	3.86				
Rec_8	3.79				

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روش استفاده‌شده در این پژوهش از دیدگاه راهبردی، یک روش‌شناسی توصیفی-اکتشافی بود و ماهیت و رویکرد این پژوهش، رویکرد ترکیبی کمی- کیفی بود. یافته‌های این پژوهش نشان داد برای دستیابی مدیریت موفق بحران سیل در سطح استان البرز و تسهیل ایجاد یک حکمرانی یکپارچه و فراگیر با حضور سودبران گوناگون در تصمیم‌گیری‌ها، نیاز به ایجاد یا بهبود ساختار سازمانی همراه با هماهنگی قوی میان سودبران گوناگون در یک سازمان واحد قدرتمند یا میان چند سازمان مهم صاحب نفوذ است. در این راستا، سازمان‌هایی چون وزارت نیرو و سازمان منابع‌طبیعی و آبخیزداری کشور در سطح ملی و شرکت‌های آب منطقه‌ای، ادارهٔ کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری، مؤسسه‌های پژوهشی و دانشگاهها در سطح استان نقش مهمی دارند. ازاین‌رو، نشست‌های هماهنگی و گفتمان میان آنها به‌همراه مشارکت دیگر سودبران مهم، از جمله جوامع محلی، منجر به تقویت مدیریت و تصمیم‌گیری سازگارانه و تاب‌آورانه خواهد شد. افزون بر آن، برای بهبود فرآیند مدیریت بحران، حکمرانی مشارکتی، ایفای نقش تمام سودبران (انجمن‌ها، روستاییان، شهرنشینان، کشاورزان و ...) در سیاست‌گذاری‌ها و ایجاد کمیته‌های محلی برای مشورت و تصمیم‌گیری و تدوین راه‌حل‌های بلندمدت و پایدار برای مقیاس‌های گوناگون زمانی و مکانی، و همچنین تغییر نگرش نسبت به انجام اقدامات مدیریتی (غیرسازه‌ای) در کنار اقدامات سازه‌ای (فنی-مهندسی) ضروری است. بر اساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود تا پژوهشگران مسائل حقوقی ایجاد سازمانی یکپارچه برای مدیریت بحران سیل در استان البرز را بررسی کنند. همچنین، پیشنهاد می‌شود شیوه‌ها و راهکارهای بهبود هماهنگی‌های میان سازمانی

سودبران اجرائی مدیریت سیل نیز بررسی شود و شیوه‌های مشارکتی سودبران محلی در مدیریت بحران سیل واکاوی شود.

سپاس‌گزاری

این پژوهش برگرفته از بخشی از نتایج رساله دکتری آقای اردشیر مصباح با عنوان تحلیل آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر بحران سیلاب و ارتباط آن با اقدامات تاب‌آورانه برای مدیریت این بحران در استان البرز مصوب در دانشگاه زنجان و طرح پژوهشی با همین عنوان، مصوب در شرکت سهامی آب منطقه‌ای البرز بود. به این وسیله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای البرز، دانشگاه زنجان و نمونهٔ آماری پژوهش که در روند انجام این پژوهش نویسندگان این مقاله را یاری کردند، تقدیر و تشکر می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است.

مشارکت نویسندگان

اردشیر مصباح: طراحی و ایده‌پردازی، مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری - آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله.

اسماعیل کرمی‌دهکردی: طراحی و ایده‌پردازی، مفهوم‌سازی، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، بررسی نتایج.

علی توحیدلو: راهنمایی، ویرایش و بازبینی متن مقاله.

امین صالح‌پور جم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله.

توفیق سعدی: مشاوره، بازبینی متن مقاله.

فهرست منابع

Achal V, Mukherjee A. 2019. Ecological wisdom inspired restoration engineering, Springer, Singapore. pp. 131-150. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0149-0

Alborz Crisis Management Headquarters. 2024. Risk reports from the Alborz Governorate Crisis Management Headquarters.Deputy for Program and Budget Coordination Puplication. 292 p.

Alborz Province Planning Studies Document. 2019. Alborz Province management and planning organization. Deputy for Program and Budget Coordination Puplication. 1181 p.

Belletti B, DeLeaniz CG, Jones J, Bizzi S, Börger L, Segura G, Castelletti A, VanDeBund W, Aarestrup K, Barry J, Belka K, Berkhuysen A, Birnie-Gauvin K, Bussettini M, Carolli M, Consuegra S, Dopico E, Feierfeil T, Fernández S, FernandezGarrido P, Garcia-Vazquez E, Garrido S, Giannico G, Gough P, Jepsen N, E.Jones P, Kemp P, Kerr J, King J, Łapińska M, Lázaro G, C.Lucas M, Marcello L, Martin P, McGinnity P, O'Hanley J, OlivoDelAmo R, Parasiewicz P, Pusch M, Rincon G, Rodriguez C, Royte J, TillSchneider C, S.Tummers, Vallesi S, Vowles A, Verspoor E, Wanningen H, M.Wantzen K, Wildman L, Zalewski M. 2020. More than one million barriers fragment Europe's rivers. Nature. 588:436-441. https://doi.org/10.1038/s41586-020-3005-2

Blistanova M, Katalinic B, Kiss I, Wessely E. 2014. Data preparation for logistic modeling of flood crisis management. Procedia Engineering.69:1529-1533. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.151

Blöschl G, Hall J, Viglione A, Perdigão R, Parajka J, Merz B, Lun D, Arheimer B, Aronica G, Bilibashi A. 2019. Changing climate both increases and decreases European river floods. Nature. 573:108-111.

Bubeck P, Kreibich H, Penning-Rowsell H, Botzen W, DeMoel H, Klijn F. 2017. Explaining differences in flood management approaches in Europe and in the USA – A comparative analysis. Journal of Flood Risk Management.10:436-445. https://doi.org/10.1111/jfr3.12151

Bui DT, Panahi M, Shahabi H, Singh VP, Shirzadi A, Chapi K, Khosravi Kh, Chen W, Panahi S, Li Sh, BinAhmad B. 2018. Novel Hybrid Evolutionary Algorithms for Spatial Prediction of Floods. Scientific Reports. 8(1): 2-4. https://doi.org/10.1038/s41598-018-33755-7

CarloPavesi F, Barontini S, Pezzagno M. 2020. Sponge land (scape): An interdisciplinary approach for the transition to resilient communities. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 13525. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-13525

Carrascosa I.P. 2018. Large group decision making: Creating decision support approaches at scale. Springer. 117 p.

Chakraborty L, Thistlethwaite J, Scott D, Henstra D, Minano A, Rus H. 2023. Assessing social vulnerability and identifying spatial hotspots of flood risk to inform socially just flood management policy. Risk Analysis. 43:1058-1078. https://doi.org/10.1111/risa.13978

Chang H, Chen T. 2016. Spatial heterogeneity of local flood vulnerability indicators within flood-prone areas in Taiwan. Environmental Earth Sciences, 75:1-14. https://doi.org/10.1007/s12665-016-6294-x

Chapi K, Singh VP, Shirzadi A, Shahabi H, TienBui D, ThaiPham B, Khosravi Kh. 2017. A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. Environmental Modelling and Software. 95:229-45. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012

Choubin B, Moradi Ę Golshan M, Adamowski J, SajediHosseini F, Mosavi A. 2019. An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. Science of the Total Environment.651:2087-2096. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.064

ConitzFeli AZ, Lupp G, Pauleit S. 2021. Non-structural flood management in European rural mountain areas—are scientists supporting implementation?. Hydrology. 8:2-7. https://doi.org/10.3390/hydrology8040167

Corack L, Deschamps S, Vinet F. 2017. Flood crisis management: The operational perspective. Floods. Elsevier. pp. 225-240. https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-269-4.50016-0

DadsSimon J, Murgatroyd A, Acreman M, Bates P, Beven K, Heathwaite H, Holden J, Holman I, N. Lane S, O'Connell E, Penning-Rowsell E, Reynard, Sear W, Thorne, Wilby. 2017. A restatement of the natural science evidence concerning catchment-based 'natural' flood management in the UK, Proceedings of the Royal Society A: Mathematical. Physical and Engineering Sciences. 473: 14-17. https://doi.org/10.1098/rspa.2016.0706

Delavar A, Koushki S. 2019. Mixed Research Methodology. Editorial Publications Tehran. 240 p.

DeWrachien D, Mambretti S, Schultz B. 2011. Flood management and risk assessment in flood-prone areas: Measures and solutions. Irrigation and Drainage. Irrigation and Drainage.60:229-240. https://doi.org/10.1002/ird.557

Debele SE, Kumar P, Sahani J, Marti-Cardona B, Mickovski SB, Leo LS, Porcù F, Flavio Bertini, Danilo Montesi, Zoran Vojinovic, DiSabatino S. 2019. Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. Environmental Research.179:2-5. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108799

Ebinger F, Elsner K, Philipp V. 2008. Ökoeffzienz-Analyse: Entwicklung eines Ansatzes zur Bewertung von dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen. Arbeitsbericht: 51:6-8. https://hdl.handle.net/10419/58289

Estelaji F, Aghajari A, Zahedi R. 2023. Flood zoning and developing strategies to increase resilience against floods with a crisis management approach. Asian Review of Environmental and Earth Sciences. 10(1):14-27. https://doi.org/10.20448/arees.v10i1.4439

Hens L, Thinh N, HongHanh T, SyCuong N, DinhLan T, VanThanh N, ThanhLe D. 2018. Sea-level rise and resilience in Vietnam and the Asia-Pacific: A synthesis. Vietnam journal of Earth Sciences. 40:126-152. https://doi.org/10.15625/0866-7187/40/2/11107

Hill B, Liang Q, Bosher L, Chen H, Nicholson A. 2023. A systematic review of natural flood management modelling: Approaches, limitations, and potential solutions. Journal of Flood Risk Management.16: e12899. https://doi.org/10.1111/jfr3.12899

Hino M, BenDor TK, Branham J, Kaza N, Sebastian A, Sweeney Sh. 2024. Growing Safely or Building Risk?. Journal of the American Planning Association. 90:50-62. https://doi.org/10.1080/01944363.2022.2141821

Hughes F. 1997. Flood plain biogeomorphology. Progress in Physical Geography: Earth and Environment. 21:501-529. https://doi.org/10.1177/030913339702100402

IPCC. 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change. In Climate change. IPCC Puplication. 151 p.

JangchiKashani S, Mesbah A, Mahmoodi, S. 2015. Analysis of barriers to agricultural entrepreneurship development from the perspective of agricultural entrepreneurs in Qazvin province. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. 5(12): 47-55.

Jongman B. 2018. Effective adaptation to rising flood risk, Nature communications, 9(1):1-3. https://doi.org/10.1038/s41467-018-04396-1

Joyce, KE, Wright K, Samsonov S, Ambrosia V. 2009. Remote sensing and the disaster

management cycle. Advances in Geoscience and Remote Sensing. 48:317-346.

Karamidehkordi E. 2019. Participation of rural communities in post-disaster reconstruction (with emphasis on major earthquakes in Iran in the 1980s). Islamic Revolution Housing Foundation Publications. 293 p.

Karamidehkordi E, HashemiSadati SH, Tajvar Y, Mirmousavi SH. 2023. Climate change vulnerability and resilience strategies for citrus farmers. Environmental and Sustainability Indicators. 20:1-17. https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100317

KarimiSangchini E, Salehpour Jam A, Mosaffaie J. 2022. Flood risk management in the Khorramabad Watershed using the DPSIR framework. Natural Hazards. 114:3101-3121. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05507-4

Khan I, Lee H, AhmadShah A, Khan I, Muhammad I. 2021. Climate change impact assessment, flood management, and mitigation strategies in Pakistan for sustainable future. Environmental Science and Pollution Research, 28:29720-29731. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12801-4

Khosravi Kh, Nohani E, Maroufinia E, Pourghasemi H. 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: A comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. Natural Hazards. 83:947-987. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2

Kourgialas, N, Karatzas G. 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. Hydrological Sciences Journal. 56:212-225. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836

Kundzewicz Z, Hegger D, Matczak P, Driessen P. 2018. Flood-risk reduction: Structural measures and diverse strategies. Proceedings of the National Academy of Sciences. 115:12321-12325. https://doi.org/10.1073/pnas.1818227115

LeCozannet G, Kervyn M, Russo S, IfejikaSperanza C, Ferrier P, Foumelis M, Lopez T, Modaressi H. 2020. Space-based earth observations for disaster risk management. Surveys in Geophysics. 41:1209-1235. https://doi.org/10.1007/s10712-020-09586-5

Long'orLokidor P, Taka M, Lashford C, Charlesworth S. 2024. Nature-based Solutions for sustainable flood management in East Africa. Journal of Flood Risk Management. 17: e12954. https://doi.org/10.1111/jfr3.12954

Mansourfar K. 2006. Advanced statistical methods with computer programs. University of Tehran Press. 460 p.

Mesbah A, Karamidehkordi E, Tohidloo Sh, Salehpour Jam A, Saadi T. 2024. A Review of Resilience in the Studies of Natural Hazards in Iran. Watershed Engineering and Management. 16(3):354-377. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2023.362235.2019

Mesbah A, OmidiNajafabadi M, KianiRad A. 2018. Feasibility Study of Application of Rural Micro Insurance in Rural Area of Iran. Village and Development. 21(1): 91-113. https://doi:10.30490/rvt.2018.66197

Mirahasani M, Salman-Mahiini A. 2018. The role of remote sensing and its data in the natural and crisis management cycle. Science of Crisis Prevention and Management. 8(3): 240-225. (In Persian).

MotieiLangroudi SH, QadiriMasoum M, EskandariChobgolou H, Tourani A, KhosraviMehr H. 2014. Investigating the role of participatory management in reducing the effects of floods (Case study: Zangmar Mako River Basin Villages). Geography and Planning. 19(51): 311-339. (In Persian).

Munawar HS, Hammad A, Waller ST. 2021. A review on flood management technologies related to image processing and machine learning. Automation in Construction.132: 2-4. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103916

National Crisis Management Organization. 2023. Statistics and information available on floods. Publications of the Ministry of Interior of Iran. 17 p.

Paprotny D, Sebastian A, Morales-Nápoles O, Jonkman S. 2018. Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. Nature Communications.9(1):1985. https://doi.org/10.1038/s41467-018-04253-1

Parolin P, Wittmann F. 2010. Struggle in the flood: Tree responses to flooding stress in four tropical floodplain systems. AoB Plants. plq003:4-6. https://doi.org/10.1093/aobpla/plq003

Pezeshkirad Gh, Karamidehkordi E. 2012. Social Statistics and Data Analysis in Agricultural Extension, Development and Education Research. Tarbiat Modares Publications. Tehran, Iran. 497 p.

Rajaei SA, Ziari K, Darab Khani R. 2023. A suitable model for flood crisis management in Ilam. Sustainable Development of Geographical Eenvironment.5(9):72-89. https://doi:10.48308/sdge.2023.230355.1114

Rubinato M, Nichols A, Peng Y, Zhang J, Lashford C, Cai Y, Lin P, Tait S. 2019. Urban and river flooding: Comparison of flood risk management approaches in the UK and China and an assessment of future knowledge needs.

Water Science and Engineering. 12:274-283. https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.12.004

Sadkou S, Artigue G, Fréalle N, Ayral PA, Pistre S, Sauvagnargues S, Johannet A. 2024. A review of flash-floods management: From hydrological modeling to crisis management. Journal of Flood Risk Management. 17(3): 1-24 https://doi.org/10.1111/jfr3.12999.

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. 23:797-811.

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

Sarhadi A, Soltani S, Modarres R. 2012. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. Journal of Hydrology. 458-459:68-86. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.039

Solutions E. 2015. The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather and climate change related natural hazards. European Environment Agency, Publications Office of the European Union. Luxembourg. 66 p.

Statistical Center of Iran. 2016. Statistical calendar. Statistical Center Puplication. 392 p.

Stürck J, Poortinga A, Verburg P. 2014. Mapping ecosystem services: The supply and demand of flood regulation services in Europe. Ecological Indicators. 38:198-211. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.010

Tahmasabi Q, Mohammadi A. 2021. Evaluation of flood crisis management stages in Ilam city from the point of view of urban stakeholder groups. Journal of Geography and Development. 19(65): 227-256. (In Persian). https://doi:10.22111/j10.22111.2021.6537

Tehrany MS, Pradhan B, NeamahJebur M. 2015. Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.29:1149-1165. https://doi.org/10.1007/s00477-015-1021-9

Tempels B. 2016. Flood resilience: A co-evolutionary approach: residents, spatial developments and flood risk management in the Dender Basin. Faculty of Engineering and Architecture, In Planning. Ghent University. 231p. https://doi.org/10.17418/PHD.2016.9789085789505

Thaler T, Hartmann T. 2016. Justice and flood risk management: Reflecting on different approaches to distribute and allocate flood risk management in Europe. Natural Hazards. 83:129-47. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2305-1

TienBui D, Khosravi Kh, Shahabi H, Daggupati P, Adamowski J, Melesse A, ThaiPham B, Pourghasemi H.R, Mahmoudi M, Bahrami S, Pradhan B, Shirzadi A, Chapi K, Lee S. 2019. Flood Spatial Modeling in Northern Iran Using Remote Sensing and GIS: A Comparison between Evidential Belief Functions and Its Ensemble with a Multivariate Logistic Regression Model. Remote Sensing. 11: 3-6. https://doi.org/10.3390/rs11131589

Tullos D, Byron E, Galloway G, Obeysekera J, Prakash O, Sun YSh. 2016. Review of challenges of and practices for sustainable management of mountain flood hazards. Natural Hazards.83:1763-1797. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2400-3

VanRee C, Van M, Heilemann K, Morris M, Royet P, Zevenbergen C. 2011. Flood Pro BE: technologies for improved safety of the built environment in relation to flood events. Environmental Science and Policy. 14:874-83. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.03.010

VanThanh N, ThanhLe D, AnThinh N, DinhLan T, Hens L. 2017. Shifting challenges for coastal green cities. Vietnam Journal of Earth Sciences. 39:109-129.

Wiering M, Kaufmann M, Mees H, Schellenberger T, Ganzevoort W, Hegger D, Larrue C, Matczak P. 2017. Varieties of flood risk governance in Europe: How do countries respond to driving forces and what explains institutional change?. Global Environmental Change.44:15-26. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.02.006

Willig C, Rogers WS. 2017. The SAGE handbook of qualitative research in psychology. Sage Puplication.

Yoshida T, Hiroi K, Yamagata Y, Murakami D. 2019. Verification on evacuation of flood disaster by using GPS: Case Study in Mabi, Japan 2018. In IGARSS 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.pp.5633-5635. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8898574

Yu PSh, Yang TCh, Chen CY, Kuo CM, Tseng HW. 2017. Comparison of random forests and support vector machine for real-time radar-derived rainfall forecasting. Journal of Hydrology.552:92-104. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.020

ZeibArzani M, Firouzi M, Hessari B, Nakoi M.A. 2022. Integrating social network analysis

and multi-criteria decision making to rank flood crisis management approaches. Crisis Management. 11(2):1-11 (In Persian).

Zhang Q, Jindapetch N, Duangsoithong R, Buranapanichkit D. 2018. Investigation of Image Processing based Real-time Flood Monitoring. In 2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA). pp.1-4. https://doi.org/10.1109/ICSIMA.2018.8688775

Zou Q, Zhou J, Zhou Ch, Song L, Guo J, Liu Y. 2012. The practical research on flood risk analysis based on IIOSM and fuzzy α-cut technique, Applied Mathematical Modelling. 36:3271-3282. https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.10.008

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Application of the Flood Crisis Management Framework in the Alborz Province with Emphasis on Identification, Classification, and Prioritization of Solutions

Ardeshir Mesbah[1], Esmail Karamidehkordi[2*], Ali Tohidloo[3], Amin Salehpour jam[4], Tofigh Saadi[5]

1- Ph.D. Student of Agricultural Development, Department of Agricultural Extension, Communication and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Associate Professor of Agricultural Extension and Rural Development, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agricultural Extension, Communication and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

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

5- Ph.D. Climatology in Environmental Planning, Secretary of the Research Committee of Alborz Regional Water Company

Extended Abstract

Introduction and Goal

The phenomenon of Flooding has always been a major threat to most people in the world. Today, the occurrence of this phenomenon has increased significantly worldwide. On the other hand, climate change has led to an increase in the number, intensity, and magnitude of such events. The damages caused by flooding are often irreparable and unpredictable. Asian countries, such as those in the Middle East, are high-risk areas that are exposed to relatively high levels of flooding and earthquakes and the damage they cause. In the past decade, Iran has faced unfortunate flood. Alborz Province is one of the provinces of Iran that has suffered significant damage from flooding. As a result of the floods in the past decade in this province, at least 12 people have died, hundreds have been injured, and 4,076,333 million rials of financial damage has been caused due to floods. The increase in flood statistics and the damages caused by them necessitate the identification of effective flood management solutions. Therefore, the purpose of the present study was to apply the flood crisis management framework in Alborz province with an emphasis on identifying, classifying, and prioritizing solutions.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author's E-mail**: e.karamidehkordi@modares.ac.ir

Citation: Mesbah, A., Karamidehkordi, E., Tohidloo, A., Salehpour jam, A., Saadi. T. 2025. Application of the Flood Crisis Management Framework in the Alborz Province with Emphasis on Identification, Classification, and Prioritization of Solutions. Watershed Management Research. 38(2): 139-160.

DOI: 10.22092/WMRJ.2025.367812.1605

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

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No. 2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 139-160.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)

Materials and Methods

The method used in this research, from a strategic perspective, was a descriptive-exploratory methodology, and the nature and approach of this research was a combined quantitative-qualitative approach. In the qualitative approach, data were collected through interviews and the formation of a panel of experts, and in the quantitative approach, data were collected through a questionnaire prepared by the researcher. The responses obtained from the interview with open-ended questions were first analyzed using thematic analysis and using $NVIVO_{12}$ software. In this regard, related concepts, categories, and themes were extracted and categorized in the coding process. Then, using the obtained components, a quantitative researcher-made questionnaire was designed and completed again by the research sample. To determine the importance of each component, the Friedman test was performed using $SPSS_{24}$ software. Also the ranking and determination of the importance and priority of flood crisis management components in Alborz Province were performed.

Results and Discussion

Based on the findings, the mean age of the research sample was 50.2 years and all of them were married. Also, the average work experience of these individuals was 21.7 years and the majority of them (55.1%) had a Ph.D. degree. In terms of field of study, watershed management was the most frequent among the specialized fields of the research sample with a frequency of 22.5%. The findings of this study indicated that in flood crisis management, the most important ranking in the Friedman test in the risk reduction step was the strategy for developing watershed and aquifer management structures with an average rank of 31.57; in the preparedness step, the strategy for integrating and coordinating organizations related to flood crisis management with an average rank of 7.68; in the response step, the strategy for rapidly deploying relief and security forces during a flood crisis with an average rank of 2.96; and in the recovery step, the strategy for organizing and correcting the course of rivers with an average rank of 6.43.

Conclusion and Suggestions

The findings of this research showed that to achieve successful flood crisis management at the provincial level in Alborz, and to facilitate the establishment of integrated and comprehensive governance with the involvement of various stakeholders in decision-making, it is necessary to create or improve the organizational structure along with strong coordination among different stakeholders within a powerful single organization or among several influential organizations. In this regard, the role of organizations such as the Ministry of Energy and the National Natural Resources and Watershed Management Organization at the national level, as well as regional water companies, the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management, research institutes, and universities at the provincial level, is important. Therefore, coordination meetings and dialogue among them, along with the participation of other important stakeholders (local communities), will lead to the strengthening of adaptive and resilient management and decision-making. Based on the results of this research, it was determined that to improve the crisis management process, participatory governance, the involvement of all stakeholders in policymaking, and the establishment of local committees for consultation and decision-making are essential. These committees should focus on formulating long-term and sustainable solutions for various temporal and spatial scales, and ultimately, it is necessary to change the attitude towards implementing management actions (non-structural) alongside structural (technical-engineering) measures.

Keywords: Crisis management, flood, governance, integrated approach, mixed method, resilience

Article Type: Research Article
Acknowledgment
This research is derived from part of the results of Ardeshir Mesbah's doctoral thesis entitled "Analysis of Farmers' Vulnerability to Flood Crisis and Its Relationship with Resilient Measures for Managing This Crisis in the Alborz Province" approved by the University of Zanjan and a research project with the same title approved by the Alborz Regional Water Joint Stock Company. We would like to express their appreciation and gratitude to the Alborz Regional Water Joint Stock Company, the University of Zanjan, and the research sample that assisted them in the process of conducting 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
All information and results are presented in the article text.
Author's Contribution
Ardeshir Mesbah: Design, conceptualization, performing software-statistical analyses, and writing the first version of the article
Esmail Karamidehkordi: Design, conceptualization, supervision, editing, reviewing the article, and controlling the results
Shadali Tohidloo: Supervision, editing, and reviewing the text of the article
Amin Salehpour Jam: Conceptualization, consulting, reviewing the text of the article
Tofigh Saadi: Consulting, reviewing the text of the article

نام‌های داورانی که در این شماره با نشریه همکاری کردند:
(به‌ترتیب حروف الفبا)

ابراهیمی‌خوسفی، زهره
باقریان‌کلات، علی
بیات، رضا
پاک‌پرور، مجتبی
چوبین، بهرام
حقی‌آبی، امیرحمزه
خسروی، حسن
خلیلی، داور
داودی‌راد، علی‌اکبر
دسترنج، علی
دستورانی، محمدتقی
رحمتی، امید
زارع، محمد
سلیمان‌پور، سید مسعود
شیرانی، کورش
صوفی، مجید
عرفانی‌فرد، سید یوسف
کاویان، عطاالله
کریمی‌سنگچینی، ابراهیم
کله‌هویی، مهین
گرامی، زهرا
مصطفی‌زاده، رئوف
نوروزی، علی‌اکبر

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

شیوه‌نامهٔ نگارش مقاله برای نشریهٔ 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 نام‌خانوادگی نگارنده اول*[1]، نام و نام‌خانوادگی نگارنده دوم[2]، ... (بی- نازنین ۱۱ پررنگ)

۱- مرتبهٔ علمی نگارنده اول، نام گروه آموزشی، نام دانشکده، نام دانشگاه یا سازمان، نام شهر، نام کشور (قلم بی- نازنین ۱۱)

۲- مرتبهٔ علمی نگارنده دوم، نام گروه آموزشی، نام دانشکده، نام دانشگاه یا سازمان، نام شهر، نام کشور (قلم بی- نازنین ۱۱)

نکتهٔ 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 نویسندهٔ مسئول در تارنمای نشریه هنگام ثبت‌نام درج می‌کند، باید دقیقاً یکسان باشند.

درج کُد اُرکید همهٔ 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 ارکید: روی دایره نماد کد ارکید (دایره سبز رنگ) کلیک سمت راست کنید از کادر باز شده گزینه ..Edit Hyperlink را انتخاب کرده و مجددا در کادر باز شده در بخش :Addressکد ارکید 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).

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

چکیدهٔ مبسوط باید به روشنی ارائه‌گر محتویات مقاله، بدون استفاده از علائم اختصاری، شکل، جدول و پاورقی بوده و به‌تفکیک دارای ساختاری به‌صورت مقدمه و هدف، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها و واژگان کلیدی باشد. تعداد کلمه‌ها در چکیدهٔ مبسوط بدون احتساب عنوان مقاله و واژه‌های کلیدی، بایستی دارای کمینهٔ ۶۰۰ و بیشینهٔ ۹۰۰ کلمه باشد. برای فونت قسمت چکیدهٔ 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 چکیدهٔ مبسوط، حتی‌المقدور، بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کلمه باشد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات**، نشانی الکترونیکی نویسندهٔ مسئول (قلم Times New Roman 11)

استناد: نام‌خانوادگی نویسندهٔ اول، حرف اول نام نویسندهٔ اول.، نام‌خانوادگی نویسندهٔ دوم، حرف اول نام نویسندهٔ دوم.، .... سال انتشار به عدد. عنوان کامل مقاله. پژوهش‌های آبخیزداری، ؟(؟): ؟؟-؟؟.

شناسهٔ دیجیتال: (قلم Times New Roman 11)

تاریخ دریافت: ؟؟/؟؟/؟؟؟؟، **تاریخ بازنگری**: ؟؟/؟؟/؟؟؟؟، **تاریخ پذیرش**: ؟؟/؟؟/؟؟؟؟، **تاریخ انتشار**: ؟؟/؟؟/؟؟؟؟

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ؟؟؟؟، دورهٔ ؟؟، شمارهٔ ؟، شمارهٔ پیاپی ؟؟؟، نام فصل، سال انتشار، صفحه‌های ؟؟ تا ؟؟.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

© نویسندگان

CC BY

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

به‌ترتیب حروف الفبای فارسی و انگلیسی، با کمینهٔ ۴ و بیشینهٔ ۶ کلمه، در انتهای چکیدهٔ مبسوط آورده شود. (قلم بی-نازنین ۱۱ پررنگ)

مقدمه (قلم بی- نازنین ۱۲ پررنگ)

در این الگوی تهیه شده، نمونه روش تهیهٔ مقاله برای برای «مجلهٔ علمی پژوهش‌های آبخیزداری» آمده است و قسمت‌ها و بخش‌های مختلف آن، انواع قلم‌ها و اندازهٔ آن‌ها که در تهیهٔ یک مقاله به‌کار می‌روند شرح داده شده است. برای سهولت کار، کلیهٔ شیوه‌های مورد نیاز برای بخش‌های مختلف، از پیش تعریف شده و تنها کافی است که نویسنده، مقالهٔ خود را با این شیوه‌نامه تطبیق و متن خود را در آن قرار دهد.

بخش‌های اصلی مقالهٔ ارسالی به این نشریه بایستی به‌ترتیب دارای: عنوان فارسی، چکیدهٔ مبسوط فارسی، واژه‌گان کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها (منطقهٔ مطالعه‌شده و روش پژوهش)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها، سپاس‌گزاری (اختیاری)، تضاد منافع نویسندگان، دسترسی به داده‌ها، مشارکت نویسندگان، منابع، عنوان انگلیسی، چکیدهٔ مبسوط انگلیسی و واژگان کلیدی انگلیسی باشد.

مقاله با استفاده از نرم‌افزار MS Word 2010 نسخهٔ ۲۰۱۰ یا بالاتر در فرمت DOCX و بیشینهٔ 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 فاصلهٔ متن از بالا در صفحهٔ اول و صفحهٔ 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 به‌صورت دو ستونی با فاصلهٔ ۸ میلی‌متر بین دو ستون تایپ شود. فاصلهٔ 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 به‌صورت 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 به‌کار 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 فاصلهٔ کامل ندارد، از نیم‌فاصله استفاده شود.

در عنوان مقاله و تمام بخش‌های مقاله، به جای استفاده از واژهٔ "حوزهٔ آبخیز" یا "حوزهٔ آبریز" و موارد مشابه، از واژهٔ فارسی "آبخیز" استفاده شود. همچنین به‌جای استفاده از "ی" در انتهای کلماتی که به "ه" ختم می‌شود از "ء" استفاده شود. مانند: (نادرست: منطقه‌ی. درست: منطقهٔ).

مطالب مربوط به واژه‌نامه، توضیحات جانبی مختصر، معادل لاتین اسامی و اصطلاحات و بیان کامل واژه‌های مخفف بایستی به‌صورت زیرنویس[1] 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 قسمت‌های 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 شیوهٔ مورد نظر تطبیق دهند. این کار با استفاده از ابزارهای Past | Copy و Format Painter نیز در این مقاله به سادگی انجام‌پذیر است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

موقعیت جغرافیایی و دیگر مطالب برای معرفی منطقهٔ پژوهش در این بخش آورده می‌شود. ارائه نقشه، در قالب موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مطالعه‌شده، در این بخش، توصیه می‌شود.

روش پژوهش

در این قسمت، روش پژوهش، به‌صورت دقیق و روشن، آورده می‌شود.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های انجام شده در پژوهش، با تأکید بر یافته‌های جدید، همراه با بحث‌های مرتبط، آورده می‌شوند. در این قسمت از جدول‌ها، شکل‌ها، نمودارها نیز استفاده و بحث در مورد آن‌ها انجام می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتیجه‌گیری دربارهٔ نتایج به‌دست آمده و تفسیر و جمع‌بندی یافته‌ها با تأکید بر مقایسه با پژوهش‌های مشابه، و تحلیل علمی نتایج به‌دست آمده و دادن پیشنهادهای 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 منافعی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

(وجود این بخش، الزامی است).

دسترسی به داده‌ها

در این بخش، شیوهٔ دسترسی به داده‌ها و کُدهای 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 همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است. اگر غیر از این، موارد اطلاعاتی قابل ارائه است؛ عبارت زیر درج شود: داده‌ها و نتایج استفاده‌شده در این پژوهش، با مکاتبه با نویسندهٔ مسئول در اختیار مخاطب قرار خواهد گرفت.

(وجود این بخش، الزامی است).

مشارکت نویسندگان

در این بخش شیوهٔ مشارکت نویسندگان در انجام پژوهش ارائه می‌شود. برای درج این بخش، از شیوهٔ زیر به‌عنوان نمونه می‌توان استفاده کرد. شایان ذکر است می‌توان بخش‌هایی از انجام کار، برای افراد مشارکت‌کننده در مقاله مشترک باشد.

1-Footnote

نویسندهٔ اول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله.

نویسندهٔ دوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج.

نویسندهٔ 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.

$$(x+a)^n = \sum_{k=0}^{n} \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \qquad (۱)$$

شماره معادلات باید در انتهای سمت راست هر ستون و در امتداد خط حاوی معادلات و در پرانتز قید گردد. توضیحات تمام متغیرها، سنجه‌ها 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 کیفت 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 به‌کار 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. همهٔ نوشتار روی شکل‌ها، نمودارها و داخل جدول‌ها باید به انگلیسی باشد. قلم فارسی عنوان جدول‌ها و شکل‌ها بی- نازنین پررنگ[2] ۱۱ و قلم انگلیسی آن‌ها Times New Roman 10 Bold انتخاب شده و قلم انگلیسی همهٔ 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 به‌صورت کاملاً رنگی منتشر می‌شود، لازم است که به‌منظور متمایز نمودن دیاگرام‌ها از رنگ‌های مختلف استفاده شود و از روش‌های متمایزسازی مختص تصاویر سیاه و سفید (مانند استفاده از ضخامت خطوط مختلف، نمادها و یا استفاده از خطوط ممتد، نقطه‌چین و خط‌چین) پرهیز شود.

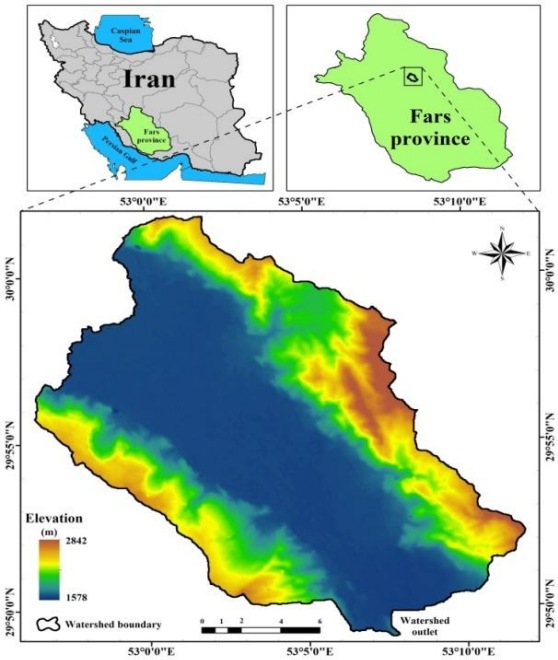
2- Bold

روش ارجاع در متن

روش این نشریه بر اساس توصیه‌های شورای ویراستاران علمی (سی‌اس‌ای[3]) در وبگاه مربوطه[4]، در ویراستِ هفتمِ کتاب مرجع آنان به نام روش و قالب علمی: دستورِکار سی‌اس‌ای برای نویسندگان، ویراستاران و ناشران (۲۰۰۶) و با انتخاب روش نام سالِ سی‌اس‌ای است.

همهٔ منابع (اعم از فارسی و انگلیسی) مورد استفاده در متن مقاله باید با نام نویسنده(گان)، به زبان فارسی، و با ذکر تاریخ منبع مورد استفاده (بر حسب سال میلادی)، در داخل علامت دو کمان () نوشته شوند. مانند: کوثر (۲۰۱۹)، و یا تامسون و همکاران (۲۰۲۱). اگر منبع ا ستفاده 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 به‌ترتیب حروف الفبا آورده شود، و هیچ منبعی در زیرنویس آورده نشود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Figure 1- Geographical location of the study area.

۱. ارجاع به منبع را با آوردن نام(های) نویسند(گان) و پس از آن سال انتشارِ نوشته انجام دهید. در هر ارجاع برای جدا کردن نام و تاریخ از دو کمان () استفاده کنید. پس از نام یک فاصلهٔ خالی بگذارید، اما ویرگول نگذارید: 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 . . .

۳. کارِ انجام شده بیش از دو نویسنده: نام نویسندهٔ اصلی، سپس عبارتِ "و همکاران" و بعد تاریخ را بنویسید.

مثال: (هاگیهارا و همکاران ۲۰۲۳)

3- CSI

4- http://www.councilscienceeditors.org

۴. بیش از دو کارِ انجام شده یک نویسنده: نام نویسنده و سپس تاریخ‌ها را به‌ترتیبِ زمانی بیاورید. برای جدا کردن تاریخ‌ها یک ویرگول و یک فاصله بگذارید:
مثال: وایل (۱۹۹۹، ۲۰۱۰، ۲۰۲۲) مدل‌های مختلف برآورد سیلاب را شرح داده است.

۵. بیش از دو کارِ 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 . . .

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

۶. کارهایی که یک سازمان به‌جای نویسنده منتشر کرده است: نام سازمان یا گروه را پیش از تاریخ چاپ بنویسید.
مثال: اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به‌تازگی 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 کوتاه‌شدهٔ نام اصلی آن‌ها را بنویسید:
مثال: اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به‌تازگی منتشر شده است (یو اس دی ای ۲۰۰۰).
در فهرست منابع نیز نخست واژهٔ کوتاه‌شده و سپس نام کامل را بیاورید.
مثال:
USDA–National Agricultural Statistics Service. 2000.

فهرست منابع

همهٔ 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 شناسهٔ دیجیتال یا DOI؛ حتماً لازم است این کُد نیز به‌طور کامل، نوشته شود.

۱. پس از نام‌خانوادگی، تنها حرف اول نام کوچک نویسنده‌ها می‌آید و این حرف‌ها با نقطه یا فاصله از هم جدا نمی‌شود. حرف اول تنها در اولین واژهٔ عنوانِ مقاله با حروف بزرگ نوشته می‌شود.
۲. پس از نام نویسنده، سال انتشار می‌آید. سپس یک نقطه، عنوان مقاله، نام مجله، یک نقطه، شمارهٔ مجلد نشریه، شمارهٔ انتشار در داخل دو کمان ()، یک نشانهٔ دونقطه (:)، و صفحه‌های مقاله آورده می‌شود. برای نوشتن شمارهٔ صفحه، همهٔ شماره‌ها را بیاورید: (۱۰۴۵–۱۰۳۷، نه ۴۵–۱۰۳۷). برای فاصلهٔ میان دو شمارهٔ صفحه از فاصلهٔ متوسط (خط اِن) – به‌جای خط تیره - استفاده کنید (نادرست: ۲۳۵-۲۵۰، درست: ۲۵۰–۲۳۵).
۳. در انتهای منابعی که نسخهٔ اصلی آن فارسی است باید در داخل پرانتز کلمه In Persian آورده شود.
۴. فهرست منابع را شماره‌گذاری نکنید.
۵. عنوان نشریات و مجلات علمی را به شکل کامل بیاورید. حرف اول عنوان هر نشریه یا مجله باید بزرگ باشد و بقیهٔ 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 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.

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).

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Title (Font: Times New Roman 14 Bold)

Author[1]*, Author[2], Author[3](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. 2, Ser. No. 147, Summer 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 Blvrd. 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

147

ISSN: 2981-2038 Vol. 38, No. 2, Ser. No. 147, Summer 2025

- **Comparison of Satellite and Ground-Based Precipitation Data for Drought Index Analysis in the Khorasan Razavi Province**
  Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani 1
- **Socio-economic and environmental impacts assessment of the watershed plan of the Imamzadeh Jafar plain in the Gachsaran County**
  Ayatollah Karami, Mostafa Ahmadvand, Fatemeh Alipanahiyan 20
- **Optimizing the Quantitative and Qualitative Groundwater Monitoring Network Using Statistical and MCDM Methods**
  Hamid Gholami1, Shahram Golzari, Ali Akbar Mohammadifar, Hoorieh Zahmatkesh, Maryam Zare 38
- **Evaluation and Prediction of Land Cover/Use Changes Using Automatic Cell-Artificial Neural Network (CA-ANN) Model in the Darab Plain of Fars Province**
  Fatemeh Abedi, Ataollah Kavian, Leila Gholami, Vahid Mousavi 62
- **Causes of Gully Erosion and Damages Caused by it in Iran**
  Samad Shadfar, Majid Soufi 83
- **Investigating of the Engineering Geological Features of the Underground Dam Construction in the Islamabad, Fars**
  Alireza Majidi, Hamid Hosseini Marandi 98
- **Analysis of the Relationship between Sediment Budget Components and Topographic Metrics at the Hillslope Scale in Control Sub-watershed of the Khamsan Representative-paired Watershed**
  Reza Zarei, Abdulvahed Khaledi Darvishan, Mohamad Reza Zare, Paolo Porto 118
- **Application of the Flood Crisis Management Framework in the Alborz Province with Emphasis on Identification, Classification, and Prioritization of Solutions**
  Ardeshir Mesbah, Esmail Karamidehkordi, Ali Tohidloo, Amin Salehpour jam, Tofigh Saadi 139