



مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

سال ششم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

۱-۲۲

تحلیل کمی متغیرهای کلیدی پویای شاخص‌های سلامت در حوزه‌های آبخیز رده سوم ایران
سیدحمیدرضا صادقی، علی نصیری‌خیای، رضا چمنی، نگین بهنیا، وحید موسوی، حمید نوری، پدیده‌السادات صادقی، محمدحسین شوشتری،
مهدی وفاخواه، عبدالواحد خالدی‌درویشان، حمیدرضا مرادی‌رکابدار کلانی

۲۳-۴۶

کاربست چارچوب مرکب DPSIR در تدوین برنامه‌های مدیریتی حوزه آبخیز گورسفید
غلامرضا خسروی، واحدبردی شیخ، امیر سعدالدین، علی شهبازی، امید اسدی نلیوان، احسان الوندی، آرش زارع گاریزی

۴۷-۶۳

پویایی زمانی-مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب در چارچوب مدل خدمات اکوسیستمی در یک منطقه کوهستانی شمال ایران
محسن ذبیحی، حمیدرضا مرادی، عبدالواحد خالدی‌درویشان، مهدی غلامعلی‌فرد

۶۴-۷۸

بررسی عوامل موثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری (منطقه مورد مطالعه: بخش کاکي، استان بوشهر)
علی جعفری، پرویز بیات، پارسا حقیقی

۷۹-۹۴

نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیک: مطالعه تطبیقی مناطق تهران
سمیرا محمدیان، مهدی قربانی، آرش ملکیان، ابوطالب محمدی، مجید رحیمی

۹۵-۱۰۹

بهبودسازی کاربری اراضی کشاورزی برای کاهش تخریب خاک در دشت سراوان
بابک خسروی مجد، محمدرضا ریگی، سیدرضا امیری، مجتبی محمدی

۱۱۰-۱۲۹

ارزش‌گذاری اقتصادی برخی از خدمات اکوسیستم مرتعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کلاشک، شهرستان گیلانغرب)
فائزه شهبازی، علی مهدوی، مرزبان فرامرزی

۱۳۰-۱۵۵

مرور تحلیلی نظام‌مند روش‌های ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک
سمیه محمدی جوزدانی



مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال ششم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

۲۷۸۳-۴۵۸۱

دانشگاه ایلام با همکاری انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر ایران

دکتر نورالدین رستمی

دکتر حاجی کریمی

دکتر حسین ارزانی: استاد گروه آموزشی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر غلامرضا زهتابیان: استاد مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر فرود شریفی: استاد گروه پژوهشی هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

دکتر حاجی کریمی: استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر حمیدرضا ناصری: استاد گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دکتر حسن پوربابایی: استاد گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

دکتر محسن رضایی: استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

دکتر ضرغام محمدی: استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

دکتر حمیدرضا پورقاسمی: استاد گروه منابع طبیعی و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

دکتر اباذر اسمعیلی عوری: استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

دکتر مهدی حیدری: استاد گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر محسن توکلی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر نورالدین رستمی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر مرزبان فرامرز: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر لحسن بن عبیدات: استاد دانشکده علوم و تکنیک / محیط زیست، دانشگاه سید محمد بن عبدالله، مراکش

دکتر پدرو جی. ام. کاستا: استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه کویمبرا، پرتغال

دکتر مهدی حیدری

دکتر نورالدین رستمی

دکتر نورالدین رستمی، دکتر رضا امیدپور

دکتر رضا امیدپور

شاپا الکترونیکی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای هیأت تحریریه

مدیر داخلی

ویراستار انگلیسی

ویراستار فارسی

صفحه آرا و طراح جلد

نشانی: ایلام، بلوار پژوهش، دانشگاه ایلام، دبیرخانه مجلات علمی دانشگاه.

تلفکس: ۰۸۴۳۲۲۲۷۰۳

صندوق پستی: ۵۱۶-۶۹۳۱۵

پست الکترونیک: iwm@ilam.ac.ir

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



تحلیل کمی متغیرهای کلیدی پویای شاخص‌های سلامت در حوزه‌های آبخیز رده سوم ایران

سیدحمیدرضا صادقی، علی نصیری‌خیاوی، رضا چمنی، نگین بهنیا، وحید موسوی، حمید نوری، پدیده‌السادات صادقی، محمدحسین شوشتری، مهدی وفاخواه، عبدالواحد خالدی‌درویشان، حمیدرضا مرادی‌رکابدارکلائی

۱-۲۲

کاربست چارچوب مرکب DPSIR در تدوین برنامه‌های مدیریتی حوزه آبخیز گورسفید

غلامرضا خسروی، واحدبردی شیخ، امیر سعدالدین، علی شهبازی، امید اسدی نلیوان، احسان الوندی، آرش زارع گاریزی

۲۳-۴۶

پویایی زمانی-مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب در چارچوب مدل خدمات اکوسیستمی در یک منطقه کوهستانی شمال ایران

محسن ذبیحی، حمیدرضا مرادی، عبدالواحد خالدی‌درویشان، مهدی غلامعلی‌فرد

۴۷-۶۳

بررسی عوامل موثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری (منطقه مورد مطالعه: بخش کاک، استان بوشهر)

علی جعفری، پرویز بیات، پارسا حقیقی

۶۴-۷۸

نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیک: مطالعه تطبیقی مناطق تهران

سمیرا محمدیان، مهدی قربانی، آرش ملکیان، ابوطالب محمدی، مجید رحیمی

۷۹-۹۴

بهینه‌سازی کاربری اراضی کشاورزی برای کاهش تخریب خاک در دشت سراوان

بابک خسروی مجد، محمدرضا ریگی، سیدرضا امیری، مجتبی محمدی

۹۵-۱۰۹

ارزش گذاری اقتصادی برخی از خدمات اکوسیستم مرتعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کلاشک، شهرستان گیلانغرب)

فائزه شهبازی، علی مهدوی، مرزبان فرامرزی

۱۱۰-۱۲۹

مرور تحلیلی نظام‌مند روش‌های ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک

سمیه محمدی جوزدانی

۱۳۰-۱۵۵

پاراگراف‌بندی متن مقاله و تمامی قواعد ادبی (آیین نگارش فارسی) و ویراستاری ادبی و علمی باید رعایت گردد.

۱-۱۲. حجم مقاله شامل متن، شکل‌ها، جدول‌ها، نقشه‌ها، منابع و چکیده لاتین، با رعایت استانداردهای نشریه نباید از ۱۵ صفحه بیشتر شود.

۱-۱۳. مقالات برگرفته از پایان‌نامه و رساله دانشجویان با نام استاد راهنما، مشاور/مشاوران و دانشجو و با مسئولیت استاد راهنما منتشر می‌شود.

۱-۱۴. مسئولیت صحت و سقم مقاله، به لحاظ علمی و حقوقی بر عهده نویسنده یا نویسندگان است.

۱-۱۵. نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، در راستای همگامی با استانداردهای نشر بین‌المللی، بنا را بر داوری هم‌تراز و دسترسی آزاد گذاشته است. در همین راستا این نشریه رویه داوری دوسو ناشناس (Double Blind Peer Review) را برگزیده است.

۱-۱۶. لازم است نویسندگان محترم فرم تعارض منافع و تعهدنامه مجله را تنظیم و به همراه فایل اصلی مقاله در قسمت فایل‌های پیوست بارگذاری فرمایند. برای شروع فرآیندهای ارزیابی مقاله، بارگذاری این فرم‌ها الزامی است.

۲. نکات قابل توجه نویسندگان برای نگارش مقاله

۲-۱. ساختار مقاله

ساختار مقاله بر اساس نوع آن تعیین می‌گردد. چهار نوع عمده مقالات عبارت‌اند از: مقالات پژوهشی، مقالات فنی و ترویجی، مقالات مروری و مقالات کوتاه. در این نشریه حداکثر تعداد کلمات مقاله‌های پژوهشی و فنی و ترویجی ۵۰۰۰، مقاله‌های مروری ۲۵۰۰ و مقاله‌های کوتاه ۲۵۰ کلمه در نظر گرفته شده است. تعداد منابعی که برای هر مقاله لازم است به ترتیب حداقل ۳۰، ۵۰ و ۵ مورد است. از نظر تعداد جدول‌ها و شکل‌ها تنها مقالات کوتاه محدودیت دارند و آن نیز در مجموع سه جدول یا شکل را شامل می‌شود.

۱. نکات قابل توجه نویسندگان پیش از نگارش مقاله

۱-۱. اصول اخلاقی انتشار مقاله مندرج در اطلاعات نشریه را به دقت مطالعه فرمایید.

۱-۲. تمامی مقالات ارسالی به نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، پیش از ورود به فرآیند داوری با نرم‌افزار مشابهت‌یاب بررسی خواهند شد.

۱-۳. با توجه به قلمرو و چشم‌اندازهای بخش اطلاعات نشریه و به دلیل تخصصی بودن، تنها موضوعات مربوط به مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز برای فصلنامه پذیرفته می‌شود.

۱-۴. نام و مشخصات نگارندگان باید به‌طور دقیق نوشته شود و نویسنده مسئول، هدایت اصلی نگارش مقاله را بر عهده دارد.

۱-۵. چاپ مقاله در این نشریه رایگان است.

۱-۶. نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز آمادگی خود را برای چاپ چهار نوع مقاله اعلام می‌کند؛ لذا خواهشمند است پیش‌تر نوع مقاله خود را تعیین کنید تا بتوانید عنوان‌بندی مقاله را بر اساس آن تنظیم کنید.

۱-۷. پذیرش مقاله تنها از طریق سایت فصلنامه (iwm.ilam.ac.ir) امکان‌پذیر است.

۱-۸. مقاله ارسال شده باید حاصل کار پژوهشی و علمی باشد و نباید در هیچ نشریه داخلی یا خارجی یا مجموعه مقالات خارجی چاپ شده باشد و نویسندگان محترم تا هنگامی که جواب پذیرش یا رد از این نشریه دریافت نکرده‌اند، نباید مقاله خود را به نشریه دیگری برای چاپ یا بررسی ارسال نمایند.

۱-۹. زبان رسمی نشریه فارسی است؛ با این وجود، تهیه چکیده مبسوط انگلیسی برای همه مقالات ضروری است.

۱-۱۰. متن داخل جداول و شکل‌ها و عناوین آن‌ها به دو زبان انگلیسی و فارسی نوشته شوند. اعداد داخل جدول‌ها و شکل‌ها به‌صورت انگلیسی نوشته شود.

۱-۱۱. مقاله باید سلیس، روان و از نظر دستور زبان صحیح باشد و واژه‌ها با دقت کافی انتخاب شده باشد؛ همچنین

فایل نحوه آماده سازی مقاله جهت ارسال به نشریه را می‌توانید از اینجا دریافت نمایید. لازم به ذکر است در هنگام ارسال مقاله، این فایل می‌بایست بدون اسامی و مشخصات نویسندگان ارسال گردد و مشخصات نویسندگان در یک فایل جداگانه ارسال گردد و در مرحله نهایی و در صورت پذیرش مقاله، اسامی نویسندگان مطابق با قالب ذکر شده به مقاله اضافه می‌گردد.

۲-۲-۱. چکیده مبسوط انگلیسی

چکیده مبسوط انگلیسی با حداقل ۶۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه در ابتدای مقاله آورده شود. این چکیده، باید خلاصه‌ای از مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و در نهایت واژگان کلیدی باشد.

“Introduction, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusion, Keywords”

۲-۲-۲. چکیده مبسوط فارسی

چکیده مبسوط فارسی معادل دقیق چکیده مبسوط لاتین بوده و به‌طور عمده مشتمل بر موضوع پژوهش، روش و نتایج است و باید در آن از مقدمه‌چینی پرهیز شود. این چکیده، باید شامل بخش‌های مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و واژه‌های کلیدی باشد. تعداد کلمات این چکیده حداقل ۶۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه است.

۲-۲-۳. واژه‌های کلیدی

کلیدواژه‌ها حاوی سه تا پنج واژه مهم مرتبط با متغیرهای پژوهش یا موضوع است که نگارنده می‌خواهد در صورت جست‌وجوی این واژگان توسط پژوهشگران دیگر در اینترنت، مقاله خود را در معرض مطالعه آن‌ها قرار دهد.

۲-۲-۴. مقدمه

در مقدمه، مبانی نظری همراه با پیشینه به گونه‌ای منسجم، یکپارچه و پیوسته بیان می‌شود تا در نهایت بتواند موضوع و مسئله موردنظر پژوهش و آنچه در بوته ابهام است را مشخص کند. هدف نویسنده در نگارش این بخش از مقاله چینه‌پشت سرهم نقل‌قول‌ها به‌طور مجزا و نامربوط به هم نیست؛ بلکه هدف روایت یک جریان و بیان خلأ موجود است. در

ساختار همه مقاله‌ها از چکیده، کلیدواژه‌ها، متن اصلی و منابع تشکیل می‌شوند، ولی متن آن‌ها بر اساس نوع مقاله فرق می‌کند. متن مقاله‌های پژوهشی و فنی و ترویجی باید دارای مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری باشند، ولی متن اصلی مقالات مروری ساختار مشخصی ندارند؛ با وجود این، لازم است که در آن‌ها طرح مسئله، عنوان‌بندی بحث و نتیجه‌گیری، به‌خوبی و با روال مشخصی صورت گیرد. متن مقالات کوتاه نیز دارای بخش‌های عادی مانند مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث نیستند، ولی باید در آن‌ها طرح مسئله شود و توصیف مشاهدات به‌صورت منظم و پیوسته در قالب نتایج و بحث صورت گیرد.

در نوشتار باید توجه داشت که جملات، پاراگراف‌ها و حتی عنوان‌های مقاله باید از پیوستگی و انسجام برخوردار باشند. این امر به‌ویژه در مقدمه و بحث مقاله باید رعایت شود. شیوه طرح مسئله در مقدمه بسیار مهم است، لازم است نویسنده با سلیقه خود و با تکیه بر پیشینه و مبانی نظری پژوهش، خواننده را مجاب به ضرورت و نوآوری پژوهش خویش نماید. در بحث مقاله با استفاده از همین مبانی و پیشینه، مشاهدات مکمل، تجربیات دیگران، تجزیه و تحلیل‌های آماری و تفسیرهای منطقی به روایی و پایایی پژوهش بپردازد و در صورت امکان نشان دهد که پژوهش وی تا چه اندازه می‌تواند به محیط‌های دیگر تعمیم داده شود و در کدام نواحی می‌تواند کارایی داشته باشد.

در مقاله‌های مستخرج از پایان‌نامه از نگارش هر نوع فرضیه پژوهش یا آزمون آن‌ها در بحث یا نتایج پژوهش پرهیز شود و سعی بر آن باشد تا در سرتاسر مقاله، اهداف پژوهش دنبال شود.

۲-۲. سبک نگارش بخش‌های مختلف مقالات

به‌طور کلی متن هر بخش مقاله از مفاهیم ویژه‌ای و به‌منظور خاصی تشکیل می‌شود که نویسنده باید سعی کند در سرتاسر مقاله از خلط مطالب بپرهیزد، در هر جزء مطالب مربوط به آن را بیان کند و از حاشیه‌نویسی به‌منظور پر کردن مطالب دوری کند.

انتهای مقدمه باید هدف از این تحقیق و نوآوری به کار رفته در انجام پژوهش بیان گردد.

۲-۲-۴. استفاده از اختصارات انگلیسی و فارسی در متن مقاله ایرادی ندارد؛ اما باید معادل فارسی و انگلیسی کامل آن در اولین باری که در متن آمده است، به صورت زیرنویس نوشته شود.

۲-۲-۵. مواد و روش‌ها

نویسنده در روش پژوهش باید از بیان کلیات و تعاریف مربوط به روش پژوهش بپرهیزد و به تفصیل توضیح دهد که چگونه داده‌ها را جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل کرده است تا هدف یا اهداف پژوهش (حل خلأ علمی که در مقدمه بیان شد) را برآورد کند. این توضیحات باید به قدری دقیق باشد که هر خواننده‌ای در صورت نیاز بتواند مرحله به مرحله آن‌ها را انجام داده و به همان نتیجه‌ای برسد که نگارنده به آن رسیده است. منطقه مورد مطالعه نیز می‌تواند در این بند معرفی شود، ولی نویسنده می‌تواند در صورت ضرورت برای توضیحات تفصیلی، عنوان مستقلی به نام "منطقه مورد مطالعه" باز کند و این عنوان را در محل مناسب که به طور ابتدای بخش مواد و روش‌ها است، قرار دهد.

۲-۲-۶. نتایج

در بخش نتایج، تنها باید مواردی بیان شود که درباره اهداف پژوهش است. از بیان روش پژوهش یا پیشینه یا هر موضوعی که ذهن خواننده را از موضوع دور می‌کند پرهیز شود. اگر نتایج پژوهش خیلی گسترده هستند، آن‌ها را به طور منظم طبقه‌بندی کرده و ذیل عنوان‌های مناسب، درباره آن‌ها توضیح دهید. در توضیحات خود از جدول‌ها و نمودارهای مناسب استفاده کنید و نتایج آماری را به شیوه‌ای گویا بیان کنید.

۲-۲-۷. بحث

بحث مقاله به دلیل سنگین بودن آن و نیاز به تفکری عمیق و شاید وقت‌گیر، به طور معمول در معرض خطر است. در این بخش، به استناد مشاهدات بیشتر، مبانی نظری علم، سابقه پژوهش‌ها و تجربیات گذشتگان و همچنین

تجزیه و تحلیل‌های آماری یا هر تحلیلی که نویسنده فکر می‌کند مناسب است باید نشان داده شود که نتایج پژوهش تا چه حد به واقعیت نزدیک‌اند. در متن مقاله نوشتن این مطلب که با پژوهش دیگری همسویی دارد یا ندارد، مناسب نیست و این مسئله را تحلیل نویسنده باید نشان دهد نه ادعای وی؛ به عبارتی، نویسنده باید بکوشد با مقایسه پژوهش‌های متعدد نشان دهد که واگرایی‌ها و همگرایی‌های بین پژوهش وی با دیگران در کجاست و به چه دلیل رخ داده است.

۲-۲-۸. نتیجه‌گیری کلی

بخش پایانی متن مقاله، نتیجه‌گیری است. این مبحث چکیده یا تکرار نتایج پژوهش نیست؛ بلکه نویسنده در این بخش به استناد بحثی که انجام داده است، حکم قطعی خود را به صورت کلی صادر می‌کند؛ به عبارتی، اکنون نتایج پژوهش نویسنده از صافی ارزیابی‌ای به نام بحث گذشته‌اند و برد اثرگذاری و کاربرد آن مشخص شده است و نتیجه‌گیری بهترین مبحثی است که نویسنده فرصت می‌یابد تا نتیجه به دست آمده و میزان اثرگذاری آن را گزارش کند. اگر نویسنده بر اساس تجربه‌ای که به دست آورده است احساس کند می‌تواند پژوهش خود را به شیوه خاصی ارتقا داده و حجم تعمیم‌پذیری آن را گسترش دهد یا به مدل‌های جدیدی دست یابد یا حل مسئله‌ای را بهبود بخشد، می‌تواند پیشنهادها را در نتیجه‌گیری ارائه دهد.

۲-۲-۹. سپاسگزاری

چنانچه نویسنده یا نویسندگان در تهیه مقاله از منابع مالی سازمان یا نهادهای خاصی استفاده کرده‌اند، یا قصد تشکر و قدردانی از کسانی را دارند که در نگارش مقاله از آن‌ها یاری گرفته‌اند، باید در بخش سپاسگزاری به این مطلب اشاره کنند.

۲-۲-۱۰. نحوه ارجاع به منابع در متن

در داخل متن، منابع فارسی باید به زبان انگلیسی ترجمه و ارجاع داده شوند. ارجاع، بسته به لحن بیان نویسنده ممکن است در شروع یا پایان جمله یا متن آورده شود. ارجاعات در

نکته ۲: منابع با اسامی نویسندگان یکسان چنانچه دارای سال انتشار متفاوت باشند، به ترتیب صعودی سال انتشار و چنانچه مربوط به یک سال مشخص باشند با افزودن حروف "a", "b", "c" و غیره پس از سال انتشار آورده شوند.

۲-۱۱-۴. آدرس هر منبعی که در متن آورده شده است باید در آخر مقاله نیز بیاید.

۲-۱۱-۵. شیوه نگارش مشخصات منابع، در انتهای مقاله باید بر اساس شیوه‌نامه APA و مانند مثال‌های زیر باشد: در صورت استفاده از سایر منابع اطلاعاتی که در اینجا ذکر نشده از شیوه‌نامه APA استفاده کنید.

الف) کتاب

نام خانوادگی نویسنده اول، نام نویسنده اول؛ نام خانوادگی نویسنده دوم، نام نویسنده دوم و نام خانوادگی نویسنده چندم، نام نویسنده چندم. (سال انتشار). عنوان کتاب (به صورت کج‌نویسی). محل انتشار: ناشر.

Briggs, D., Smithson, P., Addison, K., & Atkinson, K. (1997). *Fundamentals of the physical environmental*. London: Routledge.

ب) کتاب ترجمه شده

نام خانوادگی، نام. (تاریخ انتشار ترجمه). نام کتاب (به صورت کج‌نویسی). مترجم: نام و نام خانوادگی مترجم. محل انتشار ترجمه: ناشر.

Mohseni Saravi, M., & Rostami, N. (2006). *Watershed management: issues and approaches*. (Timothy, R.). University of Tehran Press. (In Persian)

ج) مقالات نشریات

نام خانوادگی نویسنده اول، نام نویسنده اول؛ نام خانوادگی نویسنده دوم، نام نویسنده دوم و نام خانوادگی نویسنده چندم، نام نویسنده چندم. (سال انتشار). عنوان مقاله. نام نشریه (به صورت کج‌نویسی)، سال یا دوره (شماره)، صفحه آغاز مقاله- صفحه پایان مقاله. در صورت دارا بودن شناسه راقومی مقاله یا (doi)، درج آن ضروری می باشد

Baghalani, M., Rostami, N., & Tavakoli, M. (2019). Identification of factors affecting urban flood in Ilam City Watershed. *Journal*

متن مقاله باید به شیوه داخل پرانتز باشد، به گونه‌ای که ابتدا نام خانوادگی نویسنده یا نویسندگان و سال انتشار آورده شود. برای مثال، در صورت وجود یک نویسنده با ذکر نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار؛ مانند (Rostami, 2014)؛ برای دو نویسنده با ذکر نام خانوادگی هر دو نویسنده و سال انتشار؛ مانند (Rostami & Ahmadi, 2021) باشد. در صورت وجود چندین نگارنده، ارجاع به منبع باید به صورت (نام خانوادگی نگارنده اول و همکاران، سال انتشار) مانند (Rostami et al., 2021) باشد. در صورتی که در شروع جمله به منبعی استناد شود به این صورت نگارش شوند:

Rostami (۲۰۱۴) گزارش کرد

Mohseni Saravi و Rostami (۲۰۰۶) گزارش کردند

Rostami و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند

۲-۱۱-۲. منابع پایانی

نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز برای استناددهی یا شیوه ارجاع، سبک انجمن روان‌شناسی آمریکا که به اختصار (APA; American Psychological Association) گفته می‌شود را برگزیده است.

۲-۱۱-۱. منابع مورد استفاده نباید از ۳۰ منبع کمتر باشد. ترجیحاً به منابعی که در ۱۰ سال اخیر چاپ شده‌اند (نه منابع قدیمی‌تر) ارجاع داده شود.

۲-۱۱-۲. تنها منابعی باید در پایان مقاله ذکر شوند که در متن نیز استفاده شده باشند و از ذکر منابع مشابه و کم اهمیت خودداری شود.

۲-۱۱-۳. همه منابع مورد استفاده اعم از فارسی و لاتین در پایان مقاله به زبان انگلیسی برگردانده و به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده مرتب می‌شوند. در انتهای منابع فارسی عبارت (In Persian) نوشته می‌شود.

نکته ۱: برای ترجمه منابع فارسی، حتماً به چکیده انگلیسی مقاله، صفحه عنوان انگلیسی کتاب، صفحه عنوان انگلیسی پایان‌نامه و غیره مراجعه کنید یا از مترجم کمک بگیرید. برنامه "Google Translate" پاسخ مناسبی به شما نمی‌دهد.

Food and Agriculture Organization. (2000). Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO. Retrieved January 12, 2009, from <http://www.fao.org/biodiversity>.

ر) نمونه تنظیم یک مقاله یا یک فصل در یک کتاب وابسته (Edited book)

Bradford, J. M. & R. F. Piest. (1978). *Erosion development of valley-bottom gullies in the upper mid weastern United States*. In D. R. Coates & J. D. Vitek (Eds.), *Thresholds in Geomorphology*. (pp. 75-101)

د) نمونه تنظیم یک سند از یک کنفرانس

Rostami, N. (2014). Extraction of rainfall temporal patterns using Monte Carlo simulation technique (case study: Joustan Watershed, Iran). *Second National Conference on Water Crisis, Shahrekord*. September 9-10. (In Persian)

۳. شکل ظاهری مقاله

۳-۱. حروف‌چینی مقاله باید در برنامه Word، در اندازه کاغذ A4 و با رعایت حاشیه ۲/۵ سانتی‌متر از طرفین باشد و فاصله میان سطرها یک سانتی‌متر (Single) باشد.

۳-۲. لازم است متن فارسی مقاله با قلم B Nazanin 13 و متن لاتین با قلم Times New Roman 11 نوشته شود. متن چکیده فارسی با قلم B Nazanin 10 Bold نوشته شود. عنوان اصلی مقاله با قلم B Titr 14 و سایر عنوان‌ها با قلم B Nazanin 14 Bold تنظیم شوند. منابع پایانی با قلم Times New Roman 11 نوشته شوند. عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی (B Nazanin 11 به صورت Bold) و انگلیسی (Times New Roman 10 به صورت Bold) نوشته شود. اعداد داخل جدول‌ها به صورت انگلیسی (Times New Roman 9) نوشته شوند و سایر اطلاعات داخل شکل‌ها و جداول به دو صورت فارسی (B Nazanin 10) و انگلیسی (Times New Roman 9) نوشته شوند.

۳-۳. شکل‌ها و جدول‌ها

of Watershed Engineering and Management, 11(2), 523-536. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120069.1417> (In Persian)

Rostami, N., Sohrabi, T., & Kazemi, Y. (2021). Stability analysis of flood spreading systems in arid regions, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45, 1819-1829. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00424-7>

Rostami, N., & Fathizad, H. (2022). Spatial and temporal changes of land uses and its relationship with surface temperature in western Iran. *Atmosfera*, 35(4), 701-717. <https://doi.org/10.20937/ATM.52985>

د) پایان‌نامه و رساله

نام‌خانوادگی نویسنده، نام نویسنده. (تاریخ انتشار). عنوان پایان‌نامه/ رساله (به صورت کج نویسی). پایان‌نامه مقطع رشته، نام دانشگاه.

Rostami, N. (2013). *Modeling the relationship between effective precipitation and flood hydrograph by joint probability aproach*. Ph.D. Thesis of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tehran University. (In Persian)

ه) مجموعه مقالات

نام‌خانوادگی نویسنده، نام نویسنده. (تاریخ انتشار). نام مقاله. در: نام ویراستار، نام مجموعه (به صورت کج‌نویسی)، (صص شماره صفحات). محل انتشار: ناشر.

و) کتاب منتشرشده در سازمان‌ها یا نهادها

نام سازمان یا نهاد. (سال انتشار). عنوان کتاب (به صورت کج‌نویسی). محل انتشار: ناشر.

ز) وبگاه اینترنتی

نام‌خانوادگی نویسنده، نام نویسنده. (در صورت وجود تاریخ انتشار). عنوان مطلب مورد استفاده (به صورت کج‌نویسی). برگرفته از: آدرس اینترنتی.

۴. ارسال مقاله

۴-۱. مطمئن شوید اصول پیش گفته از جمله اصول اخلاقی، قلمرو و اهداف و همچنین اصول نگارش نشریه به‌ویژه عنوان‌های متن مقاله به‌درستی نوشته شده است.

۴-۲. با آدرس iwm.ilam.ac.ir وارد سامانه نشریه و سپس وارد صفحه شخصی شوید. ورود به صفحه شخصی با کلمه کاربری و رمز عبور امکان‌پذیر است؛ بنابراین، اگر پیش‌تر آن‌ها را دریافت نکرده‌اید، به‌سادگی می‌توانید با انتخاب محیط ثبت‌نام از طریق گزینه ورود به سامانه (واقع در بخش سمت چپ و بالای صفحه) اطلاعات درخواستی را وارد و کلمه کاربری و رمز عبور را در رایانامه‌ای که در حین ثبت‌نام اعلام کرده‌اید، دریافت کنید. در صورت تمایل به تغییر آن‌ها می‌توانید از خود سامانه کمک بگیرید. توجه داشته باشید که شما برای ورود به سامانه همواره به این دو کلمه نیاز دارید؛ بنابراین بکوشید تا آن‌ها را فراموش نکنید.

۴-۳. از نوار ارسال مقاله، گزینه ارسال مقاله جدید را انتخاب کرده و طی ۱۰ مرحله شامل انتخاب نوع مقاله، وارد کردن عنوان، اضافه کردن نویسندگان، وارد کردن چکیده، وارد کردن کلیدواژه‌ها، توضیحات تکمیلی، داوران پیشنهادی (حداقل سه داور)، اضافه کردن فایل‌ها، نامه به سردبیر و چک لیست و در نهایت تکمیل ارسال مقاله، اقدام به ارسال مقاله نمایید.

۴-۴. در بخش اضافه کردن فایل، لازم است دو فایل اصلی را (به همراه فرم‌های تکمیل شده تعهدنامه و تعارض منافع) بارگذاری کنید. ۱- فایل صفحه مشخصات نویسنده یا نویسندگان در محیط Word؛ ۲- فایل متن اصلی مقاله در محیط Word بدون مشخصات نویسندگان.

در فایل اول (فرم مشخصات نویسندگان)، مشخصات کامل مقاله و نام نویسنده یا نویسندگان (نام نویسنده مسئول مکاتبات با ستاره مشخص شود)؛ آخرین مدرک تحصیلی، مرتبه علمی و محل اشتغال؛ نشانی کامل نویسنده مسئول مکاتبات شامل آدرس پستی، شماره تلفن، شماره دورنگار، نشانی پیام‌نگار (پست الکترونیک)؛ نام مؤسسه تأمین‌کننده مخارج مالی پژوهش یا تهیه مقاله (در صورت وجود) در فایل

در تنظیم جدول‌ها، منحنی‌ها، شکل‌ها و تصاویر، رعایت نکات زیر الزامی است:

۳-۱. در ترسیم نقشه‌ها سعی شود همه اصول کارتوگرافی رعایت شود. مختصات، مقیاس (مقیاس خطی)، راهنما، جهت نقشه و به‌ویژه عناوین عوارض مهم متن نقشه باید به‌صورت خوانا در آن درج شوند، به گونه‌ای که حتی پس از کوچک شدن نقشه، از وضوح آن‌ها کاسته نشود.

۳-۲. شکل‌ها و تصاویر باید به‌صورت رنگی یا سیاه و سفید و با کیفیت مناسب و مطلوب تهیه شده (رزولوشن ۳۰۰ dpi) و شماره و عنوان آن‌ها در پایین آورده شود.

۳-۳. نقشه‌ها باید واضح، مطالب آن‌ها خوانا و دارای مقیاس باشند. ذکر مأخذ نقشه‌ها، عکس‌ها یا شکل‌هایی که از منابع دیگر اقتباس شده‌اند الزامی است.

۳-۴. نمودارها به‌طور ساده ترسیم شوند، راهنمای عددی نمودارها باید انگلیسی باشد و بهتر است از ترسیم نمودارهای چندبُعدی خودداری شود.

۳-۵. همه عنوان‌ها، اعداد، واحدها و مقیاس‌ها در جدول‌ها و شکل‌ها باید به انگلیسی باشند. واحدهای استفاده شده نیز بر اساس سیستم متریک ذکر شوند.

۳-۶. ارائه تصویری جدول‌ها، معادلات، مرجع‌ها یا نوشته‌های مستقیم روی شکل‌ها امکان ویرایش را از ویراستار سلب می‌کند؛ از این‌رو لازم است این موارد به‌صورت تایپ شده در متن آورده شوند.

۳-۷. شماره و عنوان هر جدول در بالای آن به‌صورت وسط‌چین با دو زبان فارسی و انگلیسی نوشته شود.

۳-۸. عنوان شکل‌ها با دو زبان فارسی و انگلیسی در پایین تصاویر آورده شود.

۳-۹. در متن نیز حتماً به شماره‌های جدول و شکل‌ها اشاره شود.

۳-۱۰. بهتر است شکل‌ها و جدول‌ها بلافاصله پس از توضیحات متن و در نزدیکترین جای ممکن آورده شوند.

جداگانه‌ای ارسال شود. لازم به ذکر است تمام اطلاعات فوق به دو زبان فارسی و انگلیسی نوشته شوند. در فایل دوم (فایل متن اصلی مقاله بدون نام نویسندگان)، مقاله را که در ساختار مناسب بر اساس نوع مقاله تنظیم شده است بارگذاری می‌شود.

۴-۵. در بخش نامه به سردبیر قید شود که مقاله حاصل کدام یک از فعالیت‌های پژوهشی (فعالیت کلاسی، پایان نامه، طرح پژوهشی و غیره) است.

۵. پیگیری فرایند انتشار مقاله

۱-۵. در صورت تأیید سردبیر و ارسال مقاله به داوری، نویسنده مسئول به صفحه شخصی خود در سامانه نشریه مراجعه کند و اگر تأخیری در فرآیند داوری (بیش از یک ماه) مشاهده کرد از طریق پست الکترونیکی یا تماس تلفنی با نشریه روند بررسی مقاله را پیگیری کند.

۲-۵. در صورتی که مقاله برای چاپ پذیرفته شود بعد از آماده شدن برای چاپ، در سامانه و در قسمت فهرست مقالات آماده به انتشار درج می‌گردد. ضمن اینکه نسخه ویراستاری شده برای نویسنده هم ارسال میگردد و نویسنده ضمن اعمال اصلاحات خواسته شده می‌تواند اگر نیاز به هرگونه تغییر و اصلاحی باشد در این مرحله اعلام نماید. بعد از چاپ مقاله امکان هیچ گونه تغییر و اصلاحی در مقاله وجود ندارد.

۳-۵. بعد از چاپ مقاله، اطلاعات آن در صفحه شخصی درج می‌گردد و نویسنده می‌تواند وضعیت مقاله خود را با عنوان مقاله منتشر شده به صورت الکترونیکی مشاهده کند.

۴-۵. نشریه «مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز» حق رد یا قبول و نیز ویراستاری مقالات را برای خود محفوظ می‌دارد و از بازگرداندن مقالات دریافتی معذور است.

۵-۵. مقالات رد یا انصراف داده شده، پس از سه ماه از مجموعه آرشیو نشریه خارج خواهد شد و نشریه هیچ گونه مسئولیتی در این زمینه نخواهد داشت.

مجموعه مقالات

Quantitative Analysis of Key Dynamic Variables of Health Indices in Third-Order Watersheds of Iran

Seyed Hamidreza Sadeghi^{1*}, Ali Nasiri Khiavi², Reza Chamani³, Negin Behnia¹, Vahid Moosavi¹,
Hamid Noori⁴, Padidehsaday Sadeghi¹, Mohammad Hossein Shoushtari⁵, Mehdi Vafakhah¹,
Abdulvahed Khaledi Darvishan¹, Hamidreza Moradi Rekabdarkolaei¹

1. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran

3. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Birjand University, Birjand, Iran

4. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran

5. Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding author Email: sadeghi@modares.ac.ir

(Received: 20 July 2025

Revised: 27 August 2025

Accepted: 19 September 2025)

Extended Abstract

Introduction: The main goal of this study was to analyze and forecast the health condition of watersheds within third-order catchment basins across Iran, based on the variability of dynamic factors and their quantitative influence on future watershed health. The research takes a forward-looking approach, aiming to evaluate the state of watershed health for the years 2033, 2043, and 2053. The introduction highlights the importance of conserving and maintaining water and environmental resources for sustainable development, especially in a country facing diverse climates and significant human and environmental pressures. Watersheds play a vital role in water supply, flood control, and biodiversity conservation, making it crucial to understand the factors affecting their health.

Materials and Methods: In the study, key indicators and criteria influencing the health of priority watersheds in the country were collected and analyzed. These indicators were divided into two groups: static and dynamic. Initially, 173 indicators related to environmental, climatic, and human factors were selected as pressure indices, 331 indicators of similar factors were chosen as state indices, and 13 human and ecological factors were designated as response indices. After standardizing the averages of these indicators, the health status of watersheds for each targeted year was estimated by combining and weighting these indicators. To analyze the effects of independent variables on watershed health, multiple regression methods were used. These variables included maximum and minimum temperature parameters, land use, and vegetation cover levels.

Results and Discussion: The results showed that in 2033, watersheds in the northern regions—especially in Gilan and Mazandaran—are expected to remain in good to very good condition (about 60 to 70% of areas), owing to extensive forests and sufficient rainfall. Conversely, in the southern regions such as Hormozgan and Sistan and Baluchestan, conditions were assessed as weaker (around 40 to 50% in moderate to poor categories). By 2043, this trend continued in the north and northwest, mainly because of persistent dense vegetation cover and adequate rainfall. However, in eastern and southeastern areas, decreasing rainfall and human pressures resulted in an increase in unhealthy areas to roughly 50 to 60%. By 2053, regional differences became more prominent; in the north, especially in Gilan and Mazandaran, abundant rainfall and dense cultivation helped sustain relatively healthy conditions (about 40 to 50%). In contrast, in eastern and northeastern regions, reduced rainfall and increased human activities led to a decline in watershed health, with healthy areas falling to approximately 30 to 40%. Analysis indicates that temperature fluctuations, particularly changes in minimum temperatures, play a highly sensitive and significant role in altering watershed health. The impact of these fluctuations in each of the three years exceeds 47.66% on the health index. These findings emphasize the importance of managing climate change, land use modifications, and vegetation cover for the sustainability and health of watersheds in the country. The effects of dynamic variables related to land use and vegetation cover are steadily increasing, and by 2053, their influence on the health index is expected to surpass 33.5%.

Conclusion: This study highlights that future planning should focus on controlling and managing temperature fluctuations, human pressures, and land use changes, as these factors directly and significantly affect the health and sustainability of water resources and ecosystems. Management actions and policy decisions in climate management, including adherence to or modification of land use patterns and preservation of vegetation cover, can play a crucial role in improving and maintaining watershed health. These results highlight the need for ongoing monitoring, strategic planning, and the sustainable use of natural resources in the future.

Keywords: Sustainable Watershed, Watershed Health Prediction, Land Use Change Prediction, PSR Conceptual Approach, Integrated Watershed Management (IWM)

Citation: Sadeghi, S. H., Nasiri Khiavi, A., Chamani, R., Behnia, N., Moosavi, V., Noori, H., Sadeghi, P., Shoushtari, M. H., Vafakhah, M., Khaledi Darvishan, A., & Moradi Rekabdarkolaei, H. (2026). Quantitative Analysis of Key Dynamic Variables of Health Indices in Third-Order Watersheds of Iran. *Integrated Watershed Management*, 6(2), 1-22. doi= 10.22034/iwm.2025.2066419.1238

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





تحلیل کمی متغیرهای کلیدی پویای شاخص‌های سلامت در حوزه‌های آبخیز رده سوم ایران

سیدحمیدرضا صادقی^{۱*}، علی نصیری خیاوی^۲، رضا چمنی^۳، نگین بهنیا^۴، وحید موسوی^۱، حمید نوری^۴، پدیده‌السادات صادقی^۱، محمدحسین شوشتری^۵، مهدی وفاخواه^۱، عبدالواحد خالدي درویشان^۱، حمیدرضا مرادی رکابدار کلائی^۱

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل، ایران

۳. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۴. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۵. مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: sadeghi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹

چکیده مبسوط

مقدمه: هدف اصلی این مطالعه، تحلیل و پیش‌بینی وضعیت سلامت حوزه‌های آبخیز در آبخیزهای رده سه در سطح کشور، براساس تغییرپذیری عوامل پویا و تأثیر کمی آن‌ها بر سلامت آینده آبخیزها بوده است. این پژوهش با نگاهی آینده‌نگر، درصد ارزیابی وضعیت سلامت حوزه‌های آبخیز در سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ برآمده است. در بخش مقدمه، بر اهمیت حفاظت و نگهداری از منابع آب و محیط‌زیست برای دستیابی به توسعه پایدار، به‌ویژه در کشوری با اقلیم‌های متنوع و تحت فشارهای قابل‌توجه انسانی و محیطی تأکید شده است. آبخیزها به‌عنوان ارکان تأمین آب، مهار سیلاب و حفظ تنوع‌زیستی، نقش حیاتی ایفا می‌کنند و از این‌رو، درک عوامل تأثیرگذار بر سلامت آن‌ها از اهمیتی راهبردی برخوردار است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، نخست معیارهای کلیدی تأثیرگذار بر سلامت حوزه‌های آبخیز اولویت‌دار کشور گردآوری و تحلیل و به دو گروه ایستا و پویا تقسیم شدند. در ابتدا ۱۷۳ شاخص مرتبط با عوامل محیطی، اقلیمی و انسانی به عنوان معیارهای فشار، ۳۳۱ معیار از عوامل مشابه به‌عنوان معیارهای حالت و ۱۳ عامل انسانی و بوم‌شناختی به‌عنوان معیارهای پاسخ انتخاب شدند. پس از استانداردسازی مقادیر میانگین این معیارها، وضعیت سلامت حوزه‌های آبخیز برای هر یک از سال‌های هدف با تلفیق و وزن‌دهی این معیارها برآورد شد. برای تحلیل اثرات متغیرهای مستقل بر سلامت حوزه‌های آبخیز، از روش‌های رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. این متغیرها شامل پارامترهای دمای بیشینه و کمینه، کاربری اراضی و سطوح پوشش گیاهی بودند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که در سال ۲۰۳۳، انتظار می‌رود حوزه‌های آبخیز در بخش‌های شمالی کشور، به‌ویژه در استان‌های گیلان و مازندران (حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد از مساحت)، در شرایط خوب تا بسیار خوب باقی بمانند. این امر ناشی از جنگل‌های غنی و بارش کافی است. در مقابل، در مناطق جنوبی مانند هرمزگان و سیستان و بلوچستان (حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد در رده‌های متوسط تا ضعیف)، شرایط ضعیف‌تر ارزیابی شد. تا سال ۲۰۴۳، این روند در شمال و شمال‌غرب کشور تداوم یافت که عمدتاً به‌دلیل پوشش گیاهی انبوه و بارندگی کافی بود. با این حال، در مناطق شرقی و جنوب‌شرقی، کاهش بارش و فشارهای انسانی منجر به افزایش مناطق ناسالم به‌حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد شد. تا سال ۲۰۵۳، اختلافات منطقه‌ای پررنگ‌تر شد؛ در شمال، به‌ویژه در گیلان و مازندران، بارش فراوان و کشت انبوه (حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد) به حفظ شرایط نسبتاً سالم کمک کرد. در مقابل، در مناطق شرقی و شمال‌شرقی، کاهش بارش و افزایش فعالیت‌های انسانی به افت سلامت حوزه‌های آبخیز انجامید، به‌طوری‌که سهم مناطق سالم به حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش یافت. تحلیل‌ها حاکی از آن است که نوسانات دما، به‌ویژه تغییرات دمای حداقلی، نقش بسیار حساس و تعیین‌کننده‌ای در تغییر سلامت حوزه‌های آبخیز ایفا می‌کنند. تأثیر این نوسانات در هر یک از سه سال مورد مطالعه بر شاخص سلامت، بیش از ۴۷/۶۶ درصد است. این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت تغییرات آب‌وهوایی، اصلاحات کاربری اراضی و پوشش گیاهی برای پایداری و سلامت حوزه‌های آبخیز کشور تأکید می‌کنند. اثرات متغیرهای پویای مرتبط با کاربری اراضی و پوشش گیاهی به‌طور پیوسته در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۳، تأثیر آن‌ها بر شاخص سلامت به بیش از ۳۳/۵ درصد برسد.

نتیجه‌گیری: در نتیجه، این مطالعه تأکید می‌کند که برنامه‌ریزی آینده باید بر مهار و مدیریت نوسانات دما، فشارهای انسانی و تغییرات کاربری اراضی متمرکز شود، چرا که این عوامل به‌طور مستقیم و معنی‌داری بر سلامت و پایداری منابع آب و بوم‌سازگان‌ها تأثیر می‌گذارند. اقدامات مدیریتی و تصمیم‌های سیاستی در حوزه مدیریت اقلیم، از جمله پای‌بندی یا اصلاح الگوهای کاربری اراضی و حفاظت از پوشش گیاهی، می‌توانند نقشی حیاتی در بهبود و حفظ سلامت حوزه‌های آبخیز ایفا کنند. این نتایج، بر اهمیت پایش مستمر، برنامه‌ریزی راهبردی و بهره‌برداری خردمندانه از منابع طبیعی در آینده نزدیک صحنه می‌گذارند.

واژه‌های کلیدی: آبخیز پایدار، پیش‌بینی سلامت آبخیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی، رویکرد مفهومی PSR، مدیریت جامع آبخیز

استناد: صادقی، س.ج.، نصیری خیاوی، ع.، چمنی، ر.، بهنیا، ن.، موسوی، و.، نوری، ج.، صادقی، پ.الف.، شوشتری، م.ج.، وفاخواه، م.، خالدي درویشان، ع.؛ و مرادی رکابدار کلائی، ح.ر. (۱۴۰۵). تحلیل کمی متغیرهای کلیدی پویای شاخص‌های سلامت در حوزه‌های آبخیز رده سوم ایران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۶(۲)، ۱-۲۲.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

رشد جمعیت و لزوم تأمین نیازهای زیستی انسان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، منجر به استفاده‌های غیراصولی از منابع سرزمین شده است. راهبرد افزایش تولید با بهره‌کشی بیش از حد از منابع، امروز کشور را با بحران جدی، به‌ویژه در زمینه آب و محیط‌زیست، مواجه کرده است (Nasiri Khiavi et al., 2024). مدیریت ناصحیح منابع آب و سرزمین، امنیت آبی و غذایی کشور به‌عنوان اصلی‌ترین اهداف کلان ملی را در معرض تهدید قرار داده است (Hazavi et al., 2018; Ebrahimi et al., 2025). ارزیابی و مدیریت جامع آبخیزها، در مجامع علمی بین‌المللی به‌عنوان رویکردی مؤثر و کارا برای مدیریت آب، سرزمین و منابع وابسته به آن‌ها و ایجاد تعادل بین نیازهای اقتصادی- اجتماعی جوامع آبخیزنشین و سلامت و پایداری بوم‌سازگان‌ها محسوب می‌شود (Hazbavi et al., 2018). بنابراین، بازنگری و اصلاح نظام فکری و مدیریتی منابع آب و خاک کشور و ایجاد یک نظام جامع ارزیابی و مدیریت آبخیز بر اساس اصول توسعه پایدار، امروز بیش از هر زمان دیگر ضرورت دارد. ارزیابی جامع حوزه‌های آبخیز از برنامه‌های غیرقابل‌انکار برای دستیابی به پایداری و سلامت سامانه‌های مختلف موجود در آبخیز است (Xia et al., 2014). همچنین آگاهی از سلامت آبخیزها، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین بخش‌ها در مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود (Yu et al., 2013). در این راستا می‌توان سلامت را به‌عنوان یک معیار (سنجه) نسبی از انحراف فرآیندهای آبخیز نسبت به شرایط مرجع (حالت طبیعی بدون دخالت انسان یا با دخالت بسیار کم انسان) تعریف کرد و آن را از طریق اندازه‌گیری و پایش متغیرها و معیارهای گوناگون ارزیابی کرد (Singh et al., 1999; Zhang et al., 2015; Nasiri Khaivi et al., 2024).

یکی از اجزای کلیدی و بنیادی در مدیریت پایدار آبخیزها، درک وضعیت سلامت آنهاست (Ebrahimi et al., 2023). برای سنجش سلامت آبخیزها، معیارها و نمایه‌های اصلی شامل عوامل انسانی، اقلیمی، هیدرولوژیک، زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی به‌عنوان نمایندگان وضعیت کنونی سلامت معرفی و توسعه یافته‌اند؛ اما به‌کارگیری هر یک از این معیارها به تنهایی نمی‌تواند به‌طور کامل نمایانگر وضعیت سلامت بوم‌سازگان مورد مطالعه باشد (Sadeghi et al., 2019; Sadeghi et al., 2022a). براین اساس، ترکیبی از معیارها موردتوجه قرار گرفته است، ولی شیوه ترکیب این معیارها بسته به شرایط مختلف پژوهش متفاوت است و یکی از چالش‌های عمده در ارزیابی سلامت منابع آب و خاک و به‌تبع آن بوم‌سازگان‌ها به‌شمار می‌آید (Hazbavi et al., 2018; Hughes et al., 2023). بسیاری از عوامل مؤثر بر سلامت آبخیزها، ایستا^۱ و در طول زمان ثابت یا در نقاط مختلف تغییر می‌کنند که به‌وضوح ارزش نسبی این متغیرها در کنار یکدیگر را نشان می‌دهد (Zeraatpisheh et al., 2022). با این حال، بسیاری از عوامل آبخیز از قبیل متغیرهای هیدرواقلمی و کاربری اراضی نیز پویا^۲، از معیارهای کلیدی و تأثیرگذار بر سلامت حوزه‌های آبخیز هستند و تحلیل احتمال و پیش‌بینی تغییرات آینده و بررسی تأثیر آن بر سلامت آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

در همین راستا، مدل مفهومی شاخص-محور فشار، وضعیت و پاسخ^۳ (PSR) برای ارزیابی جامعی از سلامت بوم‌سازگان معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. می‌توان بیان داشت که مدل مفهومی PSR با ساماندهی معیارها در قالب شاخص‌های جامع فشار، حالت و پاسخ توانسته است سلامت بوم‌سازگان با لحاظ کلیه شرایط حاکم بر یک سامانه را تعیین کند. در مدل مفهومی PSR منظور از شاخص فشار (P)، فشارهای

موجود بر محیط‌زیست است که از طریق فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب‌وهوا بر یک آبخیز تحمیل می‌شود. همچنین شاخص حالت (S) در واقع توصیف‌کننده وضعیت موجود محیط طبیعی و عملکرد آبخیز است و شاخص پاسخ (R)، درجه‌ای را نشان می‌دهند که جامعه و یا برآیندهای مختلف آبخیز به تغییرات و نگرانی‌های تحمیل‌شده پاسخ می‌دهد (Liang et al., 2010; Sadeghi et al., 2023a). معیار^۱، ارزش خاصی را برای آبخیز بیان می‌کند و منعکس‌کننده خواص فیزیکی، زیستی، اجتماعی و عوامل اساسی مؤثر بر روند سلامت آبخیز است (Jat et al., 2008; Talampas et al., 2025).

مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور برای ارزیابی و کمی‌سازی سلامت آبخیز با ابزارهای مختلف انجام شده است. در همین ارتباط، Wang و همکاران (۲۰۱۹) نیز با ارزیابی پایداری منابع آب پکن در دوره زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶، نشان دادند که سطح بهره‌وری منابع آب در این شهر نسبتاً پایین بوده و تغییرات در این دوره اهمیتی نداشتند، که این نتایج می‌تواند راهنمای سیاست‌گذاری برای توسعه پایدار منابع آب باشد. همچنین، Rodriguez-Flores و همکاران (۲۰۲۵) روشی مبتنی بر منطق فازی برای ارزیابی سلامت رودخانه‌ها ارائه دادند که بدون نیاز به تعداد زیادی کارشناس، می‌تواند با تحلیل معیارهای محیطی، اجتماعی و اقلیمی، وضعیت رودخانه‌ها در زمان و مکان‌های مختلف را تعیین کند. آن‌ها نشان دادند که تغییرات زمانی و مکانی می‌تواند وزن سلامت رودخانه‌ها در حوزه‌های آبخیز مختلف را به شدت تغییر دهد.

Hazbavi و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی حوزه آبخیز شازند در چندین سال، نشان دادند که سلامت این حوزه آبخیز، نسبتاً ناسالم و تغییرات زمان‌بندی در آن یکنواخت نبوده است. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۳) نیز اثر اقدامات سازه‌ای محدود، مانند سازه‌های سنگی و سیمانی، بر بهبود سلامت آبخیز در دروازه قرآن شیراز را

بررسی کردند که نتایج نشان داد این اقدامات، اثری قابل‌توجه نداشتند. در عین حال، Rajabi و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه شاخص سلامت در آبخیز صفارود استان مازندران، پیش‌بینی کردند که اگرچه در آینده‌ای نزدیک تغییر معنی‌داری در شاخص سلامت آبخیزها رخ نخواهد داد، اما وضعیت آن‌ها از ناسالم به متوسط تغییر خواهد کرد. آن‌ها خاطر نشان کردند که اگرچه عوامل طبیعی تعیین‌کننده اصلی وضعیت کلی هستند، اما فعالیت‌های انسانی عامل غالب در تغییر منفی شاخص‌ها و افزایش خطر ایجاد زیرآبخیزهای ناسالم محسوب می‌شوند. بنابراین، ضروری است که مدیریت حوزه‌های آبخیز با توجه به اثرات عوامل طبیعی و انسانی، به‌ویژه تغییر اقلیم و فعالیت‌های توسعه‌ای، برنامه‌ریزی‌های مؤثری برای حفظ و بهبود سلامت این منابع انجام دهند. در مجموع، این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ارزیابی صحیح سلامت منابع طبیعی نیازمند رویکردهای چندعاملی، تلفیق شاخص‌ها و بهره‌گیری از مدل‌های تطبیقی و فازی است تا بتوان مدیریت مؤثر و پایداری در حوزه‌های آبخیز مختلف را تضمین کرد.

جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که درحالی‌که بسیاری از مطالعات از مدل مفهومی PSR برای ارزیابی وضعیت سلامت فعلی حوزه‌های آبخیز استفاده کرده‌اند، گزارش‌هایی در مورد پیش‌بینی وضعیت سلامت آبخیزهای رده سوم ایران و نیز کمی‌سازی اثرات معیارهای پویا مستند نشده است. علاوه بر این، اکثر پژوهش‌های قبلی بر حوزه‌های آبخیز منفرد متمرکز بوده‌اند. در مقابل، این مطالعه یک اطلس سلامت آبخیز برای ۶۴۰ آبخیز رده سوم کشور معرفی می‌کند و پیش‌بینی‌هایی برای سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ ارائه می‌دهد. در مطالعات هیدرولوژی و مدیریت منابع آب، حوزه‌های آبخیز بر اساس وسعت و ترتیب انشعابات رودخانه‌ای به رده‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند. آبخیزهای رده سوم به آبخیزهایی اشاره دارند که شبکه زهکشی آن‌ها به حدی

از پیچیدگی رسیده است که دارای سه سطح انشعاب باشد. به بیان ساده‌تر، این آبخیزها نه کوچک‌ترین و نه بزرگ‌ترین رده هستند، بلکه دارای وسعت و ویژگی‌های هیدرولوژیکی میانه بوده و به‌عنوان واحدهای همگن و مناسبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب و خاک در مقیاس ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شوند.

اجرای طرح پیش‌بینی تغییرات سلامت آبخیز تحت تأثیر متغیرهای پویا، به‌دلیل تأثیر مستقیم این تغییرات بر کیفیت منابع آبی و بوم‌سازگان‌های مرتبط، ضروری است. آبخیزها به‌عنوان سامانه‌های پیچیده و قابل برنامه‌ریزی مدون، با جزئیات متعددی نظیر تغییرات اقلیمی، کاربری اراضی و فرآیندهای طبیعی در ارتباط هستند. در دنیای امروز، با توجه به تغییرات سریع اقلیمی و فشارهای ناشی از توسعه شهری، تحلیل دقیق و پیش‌بینی نقاط قوت و ضعف آبخیزها می‌تواند در مدیریت منابع آب و بهبود کیفیت زندگی جوامع محلی مؤثر باشد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی سلامت آبخیز براساس تغییرپذیری متغیرهای پویا در حوزه‌های آبخیز رده سوم کشور به‌عنوان واحدهای کاری مناسب مدیریتی در سطح اجرایی کلان برنامه‌ریزی شده است.

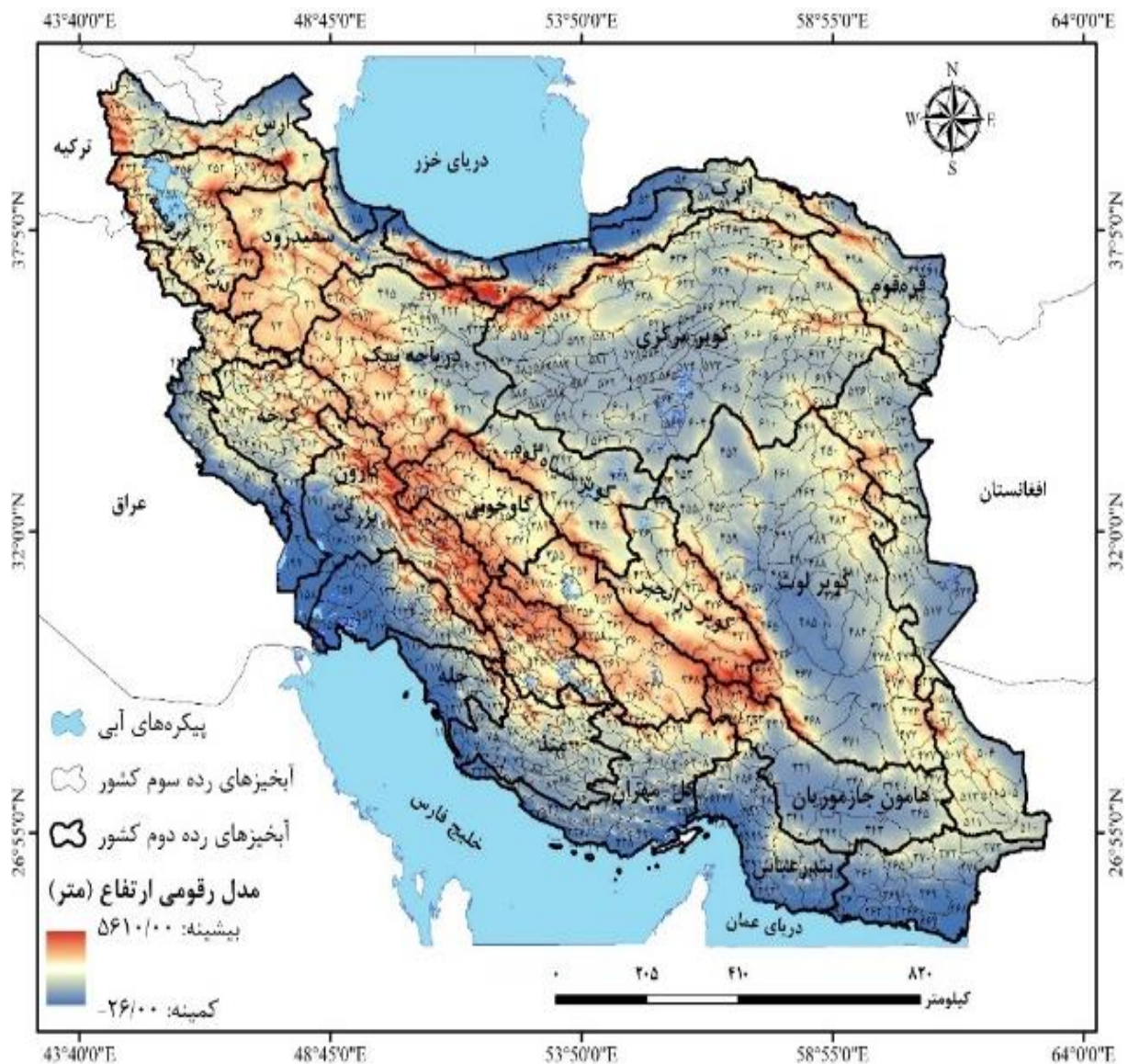
مواد و روش‌ها

آبخیزهای رده سوم کشور

گستره مطالعاتی در پژوهش حاضر شامل ۶۴۰ آبخیز رده سوم کل کشور به شرح مندرج در شکل (۱) است.

تهیه اطلاعات پایه و نقشه‌های رقومی

پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی سلامت آبخیز براساس تغییرپذیری متغیرهای پویا در حوزه‌های آبخیز رده سوم کشور به‌عنوان واحدهای کاری مناسب مدیریتی در سطح کلان و بخش‌های اصلی اجرایی برنامه‌ریزی شده است. در فرآیند این پژوهش، اطلاعات و داده‌های مورد استفاده موجود در تنها پیشینه موجود در مقیاس آبخیزهای رده دوم کشور (Sadeghi et al., 2023) در طرح خاتمه یافته بنیاد ملی علم ایران به شماره ۴۰۵۷۹۴ و همچنین اطلاعات در حال تکوین و تکمیل پروژه در جریان بنیاد به شماره ۴۰۲۷۵۰۹ و سایر پژوهش‌های در جریان و برنامه‌ریزی شده و مورد حمایت سازمان‌های متولی از قبیل سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، سازمان هواشناسی کشور، سازمان تحقیقات منابع آب ایران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز ملی آمار ایران و بنیاد ملی علم ایران براساس مدل مفهومی فشار-وضعیت-پاسخ استفاده شد. از طرفی، برای انجام پژوهش حاضر، اطلاعات حاصل از بازدید از منطقه مورد مطالعه و نظرات کارشناسان و مسئولین ذی‌ربط تجزیه و تحلیل شد. اطلاعات و نقشه‌های پایه مورد نیاز برای متغیرها از جمله برنامه‌های توسعه‌ای شامل داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی/ پوشش اراضی از منابع و مراجع مربوطه تهیه و استخراج شد. علاوه بر آن، ذخیره‌گاه اطلاعاتی داده‌ها در محیط‌های مختلف Excel 2013، ArcGIS 10.8، TerrSet 2020، v19.0.6 (برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی)، Fragstatev 4.2 (برای محاسبه سنج‌های سیمای سرزمین)، Google Earth Engine، SPSS 2016 و زبان برنامه‌نویسی Python برای انجام پژوهش آماده شد.



شکل ۱- آبخیزهای رده سوم مطالعاتی در ارزیابی سلامت در ایران
Figure 1- Third-order watersheds in health assessment study in Iran

روش‌شناسی پژوهش

تعیین معیارهای ایستا و پویای سلامت

ابتدا معیارها و نمایه‌های تأثیرگذار در وضعیت سلامت و امنیت آبخیزهای رده سوم کشور مبتنی بر مشکلات حاکم بر حوزه‌های آبخیز کشور با دقت مکانی مناسب زیرآبخیزها (Sadeghi *et al.*, 2023b) و همچنین کلیه متغیرهای مؤثر بر سلامت آبخیز و قابل حصول در مقیاس ملی مطابق با جدول‌های ۱ تا ۳ به روش‌های مختلف (Hazbavi & Sadeghi, 2015; Hazbavi *et al.*, 2018; Sadeghi *et al.*, 2019; Sadeghi *et al.*,

2020b) جمع‌آوری و در مدل PSR استخراج شد. نمودار جریانی روش‌شناسی پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است. نمایه‌ها و معیارهای مورد استفاده در این پژوهش در دو دسته ایستا یا ثابت در کوتاه‌مدت و پویا یا متغیر در کوتاه‌مدت طبقه‌بندی شدند. براساس گزارش‌های مربوط به طرح در حال تکوین و تکمیل پروژه در جریان بنیاد به شماره ۴۰۲۷۵۰۹، در مرحله مقدماتی، ۱۷۳ معیار از عوامل محیطی، اقلیمی و انسانی به‌عنوان شاخص فشار و ۳۳۱ معیار از عوامل محیطی، اقلیمی و انسانی به‌عنوان شاخص حالت و ۱۳ معیار از عوامل محیطی و انسانی به‌عنوان شاخص پاسخ انتخاب شدند.

در ادامه به دلیل وجود همبستگی بین برخی متغیرهای مورد استفاده، از آزمون تورم واریانس^۱ (VIF) برای کاهش داده‌ها و حذف متغیرهای با هم‌راستایی یا هم‌خطی^۲ استفاده و معیارهای نهایی مربوط به فشار، حالت و پاسخ به ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۳ و در دو دسته معیارهای ایستا و پویا متناسب با موجودیت و یا بازسازی سری زمانی ارائه شد.

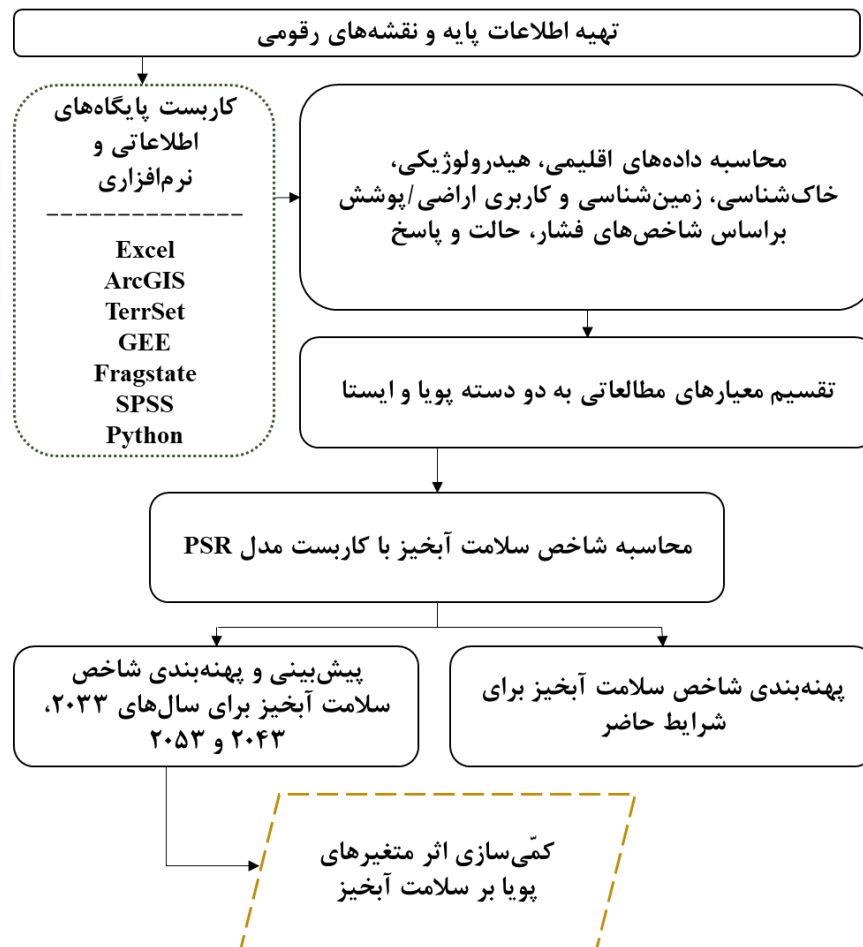
محاسبه معیارهای ایستا و پویای سلامت

برای محاسبه معیارهای ایستا و پویای سلامت و پهنه‌بندی وضعیت سلامت در آبخیزهای رده سوم کشور، از مجموعه‌ای از معیارها و داده‌های مکانی و اقلیمی برای ارزیابی شرایط آبخیزها بهره گرفته شده است. معیارهای ارتفاع، شیب و تراکم زهکشی از نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع با دقت ۱۲/۵ متر (از سامانه GEE) استخراج و مورد استفاده قرار گرفتند. معیارهای مرتبط با اقلیم شامل بارش سالانه، اختلاف دما، تبخیر و تعرق و تداوم گرد و غبار نیز از آمار سازمان هواشناسی و محصولات MODIS برای دوره ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۲ جمع‌آوری شدند. برای تخمین و توزیع معیار فرساینده‌گی باران، از نقشه‌ها و روابط منطقه‌ای موجود در سطح کشور و گزارش‌های طرح جامع مدیریت حوزه‌های آبخیز بهره‌برداری شد (Sadeghi & Hazbavi, 2015; Sadeghi & Tavangar, 2015). شاخص خشکسالی SPI بر اساس داده‌های سالانه بیش

از ۳۰ سال بارندگی و با روش‌های زمین‌آمار مانند روش معکوس وزنی فاصله محاسبه شد (Sadeghi et al., 2020b). اطلاعات مربوط به جمعیت، سطح بحران آب، تنش‌ها و سیلاب نیز از گزارش‌های ملی و مستندات تحقیقاتی مرتبط استخراج شد (Zakeri et al., 2022; Kabolizadeh et al., 2022). همچنین، تعداد زمین‌لغزش‌ها، نسبت اراضی حساس به فرسایش، سیل‌خیز، فرونشست، و مکان‌های آسیب‌دیده ناشی از سیل، فرسایش و فرونشست، از نقشه‌ها و گزارش‌های سازمان‌های مرتبط جمع‌آوری شد (Hatefi & Sadeghi, 2021). داده‌های مربوط به نسبت اراضی انسانی، کیفیت و تغذیه منابع آب زیرزمینی، حجم برداشت و تراکم چاه‌های غیرمجاز نیز از آمارهای شرکت مدیریت منابع آب ایران و نقشه‌های ماهواره‌ای MODIS با بهره‌گیری از سامانه Google Earth Engine استخراج شدند (Swenson, 2012). علاوه بر این، نمایه‌های پوشش گیاهی، سنجه‌های سیمای سرزمین شامل تکه‌تکه‌شدگی، تجمع، تنوع شانون و یکنواختی، از محصولات MODIS در آبخیزهای رده سوم کشور برداشت شد. تراکم گسل‌ها و جاده‌ها بر اساس نقشه‌های طرح مدیریت جامع آبخیزهای کشور (۱۳۹۶) مورد تحلیل قرار گرفت و اثرات فعالیت‌های انسانی، مانند تداخل جاده‌ها و شبکه‌های زهکشی، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 و روش تقاطع^۳ شناسایی شدند.

3 Intersect

1 Variance Inflation Factor
2 Collinearity



شکل ۲- نمودار جریانی روش شناسی پژوهش

Figure 2- Flowchart of research methodology

جدول ۱- عامل‌ها و معیارهای ایستا و پویای شاخص فشار (P) در ارزیابی سلامت و امنیت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 1- Static and dynamic factors and criteria of the Pressure index (P) in assessing the health and security of the country's third-order watersheds

عوامل	معیار	نوع معیار
اقلیمی	متوسط بارش سالیانه (mm)	پویا
	متوسط فرساینده‌گی باران ($Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$)	پویا
	متوسط دمای سالیانه هوا ($^{\circ}C$)	پویا
	بیشینه دمای سطح زمین ($^{\circ}C$)	پویا
	انحراف معیار دمای سطح زمین ($^{\circ}C$)	پویا
	متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه (mm)	پویا
	متوسط سرعت باد سالیانه در ارتفاع ۲ متر ($m\ s^{-1}$)	پویا
هیدرولوژی	متوسط فرسایش آبی ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)	پویا
	وسعت مناطق با سیل شدید (km^2)	ایستا
	وسعت مناطق با سیل متوسط (km^2)	ایستا
	وسعت مناطق با سیل عادی (km^2)	ایستا
	وسعت دشت‌های مجاز آب زیرزمینی (km^2)	ایستا
	طول شبکه زهکشی (km)	ایستا
محیطی	خسارت ناشی از فرسایش آبی (میلیارد تومان)	پویا
	لغزش (تعداد)	ایستا
	طول گسل (km)	ایستا
	انحراف معیار شاخص خشکی دما-گیاه خاک	پویا

ادامه جدول ۱- عامل‌ها و معیارهای ایستا و پویای شاخص فشار (P) در ارزیابی سلامت و امنیت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 1- Static and dynamic factors and criteria of the Pressure index (P) in assessing the health and security of the country's third-order watersheds

عوامل	معیار	نوع معیار
محیطی	کمینه شاخص خاک لخت (بی‌بعد)	پویا
	بیشینه شاخص خاک لخت (بی‌بعد)	پویا
	انحراف معیار شاخص خاک لخت (بی‌بعد)	پویا
	کمینه شاخص شوری خاک (بی‌بعد)	پویا
	بیشینه شاخص شوری خاک (بی‌بعد)	پویا
	انحراف معیار شاخص شوری خاک (بی‌بعد)	پویا
	کمینه نیتروژن خاک (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	ایستا
	انحراف معیار نیتروژن خاک (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	ایستا
	کمینه شیب (درصد)	ایستا
	بیشینه شیب (درصد)	ایستا
	متوسط شیب (درصد)	ایستا
	انحراف معیار شیب (درصد)	ایستا
کاربری اراضی	اختلاف ارتفاع (m)	ایستا
	وسعت اراضی مرتعی (km^2)	پویا
	وسعت اراضی بایر (km^2)	پویا
	وسعت اراضی جنگلی (km^2)	پویا
	تالاب (تعداد)	ایستا
انسانی	وسعت اراضی زراعی دیم و آبی (km^2)	پویا
	وسعت مناطق مسکونی (km^2)	پویا
	متوسط فرونشست زمین ناشی از بهره‌برداری نامطلوب انسانی (cm y^{-1})	ایستا
	کمینه شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی (بی‌بعد)	پویا
	بیشینه شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی (بی‌بعد)	پویا
	متوسط شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی (بی‌بعد)	پویا
	انحراف معیار شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی (بی‌بعد)	پویا
	جمعیت کل (نفر)	پویا
	وسعت طرح‌های معدنی (km^2)	ایستا
	انقطاع هیدرولوژیک (تعداد)	ایستا

جدول ۲- عامل‌ها و معیارهای ایستا و پویای شاخص وضعیت (S) در ارزیابی سلامت و امنیت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 2- Static and dynamic factors and criteria of the State index (S) in assessing the health and security of the country's third-order watersheds

عوامل	معیار	نوع معیار
اقلیمی	ضریب تغییرات بارش سالیانه (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات بارش بیشینه (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات بارش کمینه (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات میانه بارش (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات فرساینده‌گی باران (درصد)	پویا
	تراکم فرساینده‌گی باران ($\text{Mj ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)	پویا
	متوسط شاخص Palmer (بی‌بعد)	پویا
	ضریب تغییرات شاخص Palmer (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات دمای سطح زمین (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات سرعت متوسط باد (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات سرعت بیشینه باد (درصد)	پویا

ادامه جدول ۲- عامل‌ها و معیارهای ایستا و پویای شاخص وضعیت (S) در ارزیابی سلامت و امنیت آبخیزهای رده سوم کشور
Table 2- Static and dynamic factors and criteria of the State index (S) in assessing the health and security of the country's third-order watersheds

عوامل	معیار	نوع معیار
اقلیمی	ضریب تغییرات سرعت کمینه باد (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه (درصد)	پویا
	نسبت متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل به متوسط بارش سالیانه (بی‌بعد)	پویا
	کمینه ضریب تغییرات دمای متوسط (درصد)	پویا
	کمینه ضریب تغییرات دمای بیشینه (درصد)	پویا
	بیشینه ضریب تغییرات دمای بیشینه (درصد)	پویا
	متوسط ضریب تغییرات دمای بیشینه (درصد)	پویا
	بیشینه ضریب تغییرات دمای کمینه (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات کمینه دمای کمینه (درصد)	پویا
	انحراف معیار ضریب تغییرات دمای بیشینه (درصد)	پویا
هیدرولوژی	انحراف معیار ضریب تغییرات دمای کمینه (درصد)	پویا
	کمینه تغییرات شیب دبی (بی‌بعد)	ایستا
	متوسط تغییرات شیب دبی (بی‌بعد)	ایستا
	ضریب تغییرات شیب دبی (درصد)	ایستا
	ذخیره آب زیرزمینی (Mm^3)	ایستا
	کمینه شاخص نرمال‌شده تفاضل برف (بی‌بعد)	پویا
	متوسط شاخص نرمال‌شده تفاضل برف (بی‌بعد)	پویا
	انحراف معیار شاخص نرمال‌شده تفاضل برف (بی‌بعد)	پویا
	ضریب تغییرات شاخص نرمال‌شده تفاضل برف (درصد)	پویا
	کمینه شاخص نرمال‌شده تفاضل آب (بی‌بعد)	پویا
	بیشینه شاخص نرمال‌شده تفاضل آب (بی‌بعد)	پویا
	متوسط شاخص نرمال‌شده تفاضل آب (بی‌بعد)	پویا
	انحراف معیار شاخص نرمال‌شده تفاضل آب (بی‌بعد)	پویا
	ضریب تغییرات شاخص نرمال‌شده تفاضل آب (درصد)	پویا
	متوسط تغییرات روزانه آب زیرزمینی (mm)	ایستا
	انحراف معیار رطوبت زیرسطحی (mm)	پویا
	ضریب تغییرات رطوبت زیرسطحی (درصد)	پویا
محیطی	ضریب تغییرات رطوبت سطحی (درصد)	پویا
	تراکم آبراهه ($km.km^{-2}$)	ایستا
	ضریب تغییرات ارتفاع (درصد)	ایستا
	ضریب تغییرات شیب (درصد)	ایستا
	نسبت وسعت شیب رو به شرق به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	ایستا
	نسبت وسعت دشت‌های مجاز آب زیرزمینی به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	ایستا
	بیشینه جرم مخصوص ظاهری خاک	ایستا
	انحراف معیار جرم مخصوص ظاهری خاک	ایستا
	ضریب تغییرات کربن آلی خاک (درصد)	ایستا
	ضریب تغییرات نیتروژن خاک (درصد)	ایستا
	ضریب تغییرات شاخص خاک لخت (%)	پویا
	ضریب تغییرات شوری خاک (درصد)	پویا
	ضریب تغییرات شاخص خشکی دما-پوشش گیاهی خاک (درصد)	پویا
	کمینه شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (بی‌بعد)	پویا
	بیشینه شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (بی‌بعد)	پویا
	انحراف معیار شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (بی‌بعد)	پویا
	ضریب تغییرات شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (درصد)	پویا

ادامه جدول ۲- عامل‌ها و معیارهای ایستا و پویای شاخص وضعیت (S) در ارزیابی سلامت و امنیت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 2- Static and dynamic factors and criteria of the State index (S) in assessing the health and security of the country's third-order watersheds

عوامل	معیار	نوع معیار
محیطی	کمینه فرسایش‌پذیری آبی خاک ($t\ h^{-1}m\ j^{-1}mm^{-1}$)	ایستا
	بیشینه فرسایش‌پذیری آبی خاک ($t\ h^{-1}m\ j^{-1}mm^{-1}$)	ایستا
	کمینه فرسایش‌پذیری بادی خاک	ایستا
	بیشینه فرسایش‌پذیری بادی خاک	ایستا
	متوسط فرسایش‌پذیری بادی خاک	ایستا
	انحراف معیار فرسایش‌پذیری بادی خاک	ایستا
	ضریب تغییرات فرسایش‌پذیری بادی خاک (درصد)	ایستا
	کمینه شاخص هواویز (بی‌بعد)	پویا
	متوسط شاخص هواویز (بی‌بعد)	پویا
کاربری اراضی	شاخص تنوع Shannon (بی‌بعد)	پویا
	طبیعت‌گرایی (بی‌بعد)	پویا
	نسبت وسعت اراضی جنگلی به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	پویا
	نسبت اراضی مرتعی به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	پویا
	نسبت وسعت مناطق با سیل شدید به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	ایستا
	نسبت وسعت مناطق با سیل متوسط به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	ایستا
	نسبت وسعت مناطق با سیل عادی به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	ایستا
	نسبت وسعت مناطق مسکونی به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	پویا
	ضریب تغییرات فرونشست ناشی از بهره‌برداری نامطلوب انسانی (درصد)	ایستا
انسانی	نسبت وسعت طرح‌های معدنی به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	ایستا
	نسبت وسعت دشت‌های ممنوعه آب زیرزمینی به وسعت آبخیز (بی‌بعد)	ایستا
	تراکم انقطاع هیدرولوژیک (تعداد بر km^2)	ایستا
	تراکم جاده ($km\ km^{-2}$)	ایستا
	ضریب تغییرات شاخص تفاضل نرمال‌شده خاک‌ورزی (درصد)	پویا
	شیب Sen شاخص تفاضل نرمال‌شده خاک‌ورزی (درصد)	پویا
	تراکم زراعی (نفر بر km^2)	پویا
	تراکم جمعیت کل (نفر بر km^2)	پویا
	ضریب تغییرات غلظت گاز دی اکسید نیتروژن ($mol\ m^{-2}$)	پویا
	حداقل غلظت گاز مونوکسید کربن ($mol\ m^{-2}$)	پویا
	حداکثر غلظت گاز مونوکسید کربن ($mol\ m^{-2}$)	پویا
	متوسط غلظت گاز مونوکسید کربن ($mol\ m^{-2}$)	پویا
	انحراف معیار غلظت گاز مونوکسید کربن ($mol\ m^{-2}$)	پویا
	ضریب تغییرات غلظت گاز مونوکسید کربن (درصد)	پویا

جدول ۳- عامل‌ها و معیارهای ایستا و پویای شاخص پاسخ (R) در ارزیابی سلامت و امنیت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 3- Static and dynamic factors and criteria of the Response index (R) in assessing the health and security of the country's third-order watersheds

عوامل	معیار	نوع معیار
انسانی	وسعت طرح‌های اجرایی حفاظتی محیط زیست (km^2)	ایستا
	وسعت دشت‌های محدود شده برداشت آب زیرزمینی (km^2)	ایستا
	حجم عملیات مهندسی آبخیزداری (m^3)	ایستا
(اقدامات یا طرح‌های انجام‌شده)	تعداد عملیات مهندسی آبخیزداری	ایستا
	وسعت عملیات زیستی آبخیزداری انجام‌نشده (ha)	پویا
	وسعت عملیات زیستی آبخیزداری انجام‌شده (ha)	پویا
	وسعت مطالعات آبخیزداری انجام‌شده (ha)	ایستا

پیش‌بینی سلامت آبخیزهای رده سوم کشور

برای پیش‌بینی سلامت آبخیزهای رده سوم کشور در سه مقطع زمانی آینده، تنها از متغیرهای پویای مؤثر بر سلامت و کاربست مدل PSR استفاده شد. برای این منظور و پس از استانداردسازی متغیرهای نهایی ایستا و پویا، شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ بر اساس میانگین حسابی مقدارهای استاندارد شده معیارهای مورد مطالعه محاسبه شدند. در نهایت برای تعیین وضعیت نهایی سلامت آبخیزهای رده سوم کشور، از میانگین هندسی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ برای هر یک از زیرآبخیزها طبق رابطه (۱) استفاده شد (Hazbavi et al., 2018; Sadeghi et al., 2023b; (Rajabi et al., 2024).

$$(1) \quad \frac{1}{k} \left[\prod_{n=1}^k X_n \right] = \text{میانگین هندسی}$$

که در آن، $\prod_{n=1}^k X_n$ به ترتیب برابر با حاصل ضرب شاخص‌ها و تعداد شاخص‌هاست. در ادامه، برای محاسبه شاخص سلامت جامع بوم‌سازگان (شاخص نهایی) در مقیاس آبخیزهای رده سوم، از میانگین هندسی استفاده شد. این روش به این دلیل انتخاب شد که میانگین هندسی به دلیل حساسیت بالا به تغییرات مقادیر هر متغیر، امکان اینکه کاهش شدید مقدار یک شاخص توسط مقادیر خوب سایر شاخص‌ها پنهان بماند را ایجاد نمی‌کند و در نتیجه تغییرات در وضعیت سلامت را به طور دقیق‌تر منعکس می‌کند. پس از محاسبه این شاخص جامع برای هر آبخیز در سال‌های هدف (۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳)، نقشه‌های پهنه‌بندی برای هر سال به صورت مجزا تهیه شد. در نهایت، برای مقایسه روند تغییرات در طول زمان، این نقشه‌ها در کنار یکدیگر قرار گرفتند و تحلیل مقایسه‌ای انجام شد. برای ایجاد امکان مقایسه پهنه‌بندی سلامت در زمان‌های مختلف، مبادرت به تهیه چهار نقشه جداگانه مربوط به حال حاضر و سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ و همچنین مداخله درصد نسبی تغییرات معیارهای پویا در شرایط کنونی و یا یک مقطع قبل شده و نهایتاً پهنه‌بندی جدید برای سال مطالعاتی آینده تهیه شد (Chamani et al., 2023).

کمی‌سازی اثر متغیرهای پویا بر سلامت آبخیز

پس از طبقه‌بندی شاخص سلامت آبخیز در سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳، اقدام به تعیین میزان اثرات کمی متغیرهای پویا در تأثیرپذیری شاخص سلامت آبخیز در سال‌های مذکور با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و درصد مشارکت هر معیار شد (Odemis & Evrendilek, 2008; Hazbavi et al., 2020).

نتایج و بحث

نتایج مربوط به مقادیر کمی آماره‌های خطا و صحت‌سنجی مربوط به مدل‌های بهینه در پیش‌بینی معیارهای پویا مربوط به شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین در جدول‌های ۴ و ۵، نتایج کامل مربوط به پیش‌بینی کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ ارائه شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی مدل‌های بهینه در پیش‌بینی معیارهای پویای سلامت آبخیزها (جدول ۴) نشان می‌دهد که عملکرد مدل‌ها بر اساس ویژگی‌های داده‌ها و روابط غیرخطی متفاوت است. در این میان، مدل‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تعیین به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۶ در پیش‌بینی میزان جمعیت و شاخص TVDI (شاخص خشکی، دما، پوشش گیاهی) عملکرد برجسته‌ای داشته‌اند که تأکیدی بر قابلیت این مدل‌ها در برازش داده‌های مربوطه است. سایر پژوهش‌گران (Nasiri Khiavi et al., 2023a; Nasiri Khiavi et al., 2023b) نیز در مطالعات کیفیت آب در آبخیزهای مرکزی و شمال غربی ایران، این الگوریتم‌ها را تایید کرده‌اند. همچنین در مطالعه حاضر، مدل SARIMA در تحلیل داده‌های سری‌زمانی از قبیل تغییرات روزانه آب زیرزمینی، شاخص خشکسالی Palmer و مؤلفه‌های سرعت باد، با ضریب تعیین بین ۰/۷۸ و ۰/۸۵، عملکرد قابل‌قبولی از خود نشان داد که بر اهمیت استفاده از مدل‌های مبتنی بر ساختار زمانی در تحلیل پدیده‌های هیدرواقليمی تأکید دارد. در مطالعه Rajabi و همکاران (۲۰۲۴)،

پیش‌بینی شاخص سلامت آبخیز در منطقه صفارود استان مازندران با بهره‌گیری از مدل SARIMA نتایج مناسبی داشته است. از طرف دیگر، الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و K نزدیک‌ترین همسایه، در پیش‌بینی شاخص‌های سنجش از دور نظیر NDVI، NDWI و شوری خاک، با ضریب تعیین بالاتر از ۰/۸۴، نشانگر برتری و قابلیت بالای آن‌ها در مدل‌سازی داده‌های پیچیده و چندبعدی هستند. نتایج مطالعات مشابه نیز توسط دیگر پژوهش‌گران (Nasiri Khiavi et al., 2024) پشتیبانی شده است، که نشان می‌دهد این الگوریتم‌ها در پهنه‌بندی و ارزیابی سلامت آبخیز توانایی خوبی دارند. نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی در سال‌های آینده (۲۰۳۳ تا ۲۰۵۳) نیز نشان دادند که ضریب Kappa از

۰/۹۴ در کوتاه‌مدت به ۰/۷۸ در بلندمدت کاهش یافته است. این روند کاهش عمدتاً به دلیل افزایش عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های بلندمدت و تأثیر عوامل انسانی و محیطی است؛ اما دقت بالا در حدود ۰/۹۶ در کوتاه‌مدت، نشان‌دهنده قابلیت اطمینان مدل در این بازه زمانی است. بنابراین، توصیه می‌شود که برای حفظ دقت، به‌روزرسانی منظم مدل با داده‌های جدید و در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار ضروری باشد (جدول ۵). در نهایت، مطالعه Fathizad و همکاران (۲۰۱۴) در آبخیز دوبرج ایلام، با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و مدل Markov، نشان داد که نقشه‌های کاربری پیش‌بینی شده برای آینده می‌توانند به‌عنوان سامانه‌های هشدار برای پیامدها و تأثیرات آینده تغییرات کاربری، مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۴- آماره‌های خطا، صحت‌سنجی و مدل بهینه در پیش‌بینی معیارهای پویای شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 4- Error and precision statistics, and optimal model in predicting dynamic criteria of the health index of the third-order watersheds of Iran

معیار*	مدل بهینه	آماره R ²	آماره RMSE	آماره MAE
متوسط فرسایندگی باران	رگرسیون توانی	0.75	17.2	16.04
خسارات ناشی از فرسایش	رگرسیون خطی	0.81	9.08	5.98
تغییرات روزانه آب زیرزمینی	SARIMA	0.78	0.99	0.78
شاخص خشک‌سالی Palmer	SARIMA	0.81	0.97	0.79
تبخیر- تعرق پتانسیل	جنگل تصادفی	0.82	0.99	0.81
جمعیت	رگرسیون خطی	0.98	1.24	0.98
متوسط فرسایش آبی	رگرسیون خطی	0.89	0.91	0.82
مؤلفه‌های بارش	SVM	0.88	0.91	0.79
مؤلفه‌های دما	جنگل تصادفی	0.86	0.65	0.55
شاخص BSI	SARIMA	0.83	1.56	0.97
شاخص LST	SARIMA	0.9	0.91	0.72
شاخص NDSI	SARIMA	0.91	0.83	0.69
شاخص NDTI	ماشین بردار پشتیبان	0.87	0.98	0.86
شاخص NDVI	جنگل تصادفی	0.84	1.22	0.92
شاخص NDWI	جنگل تصادفی	0.93	0.78	0.67
شاخص شوری خاک	ماشین بردار پشتیبان	0.95	0.66	0.52
شاخص TVDI	K نزدیک‌ترین همسایه	0.96	0.55	0.45
مؤلفه‌های باد	SARIMA	0.85	3.21	2.12

* BSI (شاخص خاک لخت)، LST (دمای سطح زمین)، NDSI (شاخص نرمال شده تفاضل برف)، NDTI (شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی)، NDVI (شاخص نرمال شده تفاضل گیاهی)، NDWI (شاخص نرمال شده تفاضل آب)، TVDI (شاخص خشکی، دما، پوشش گیاهی).

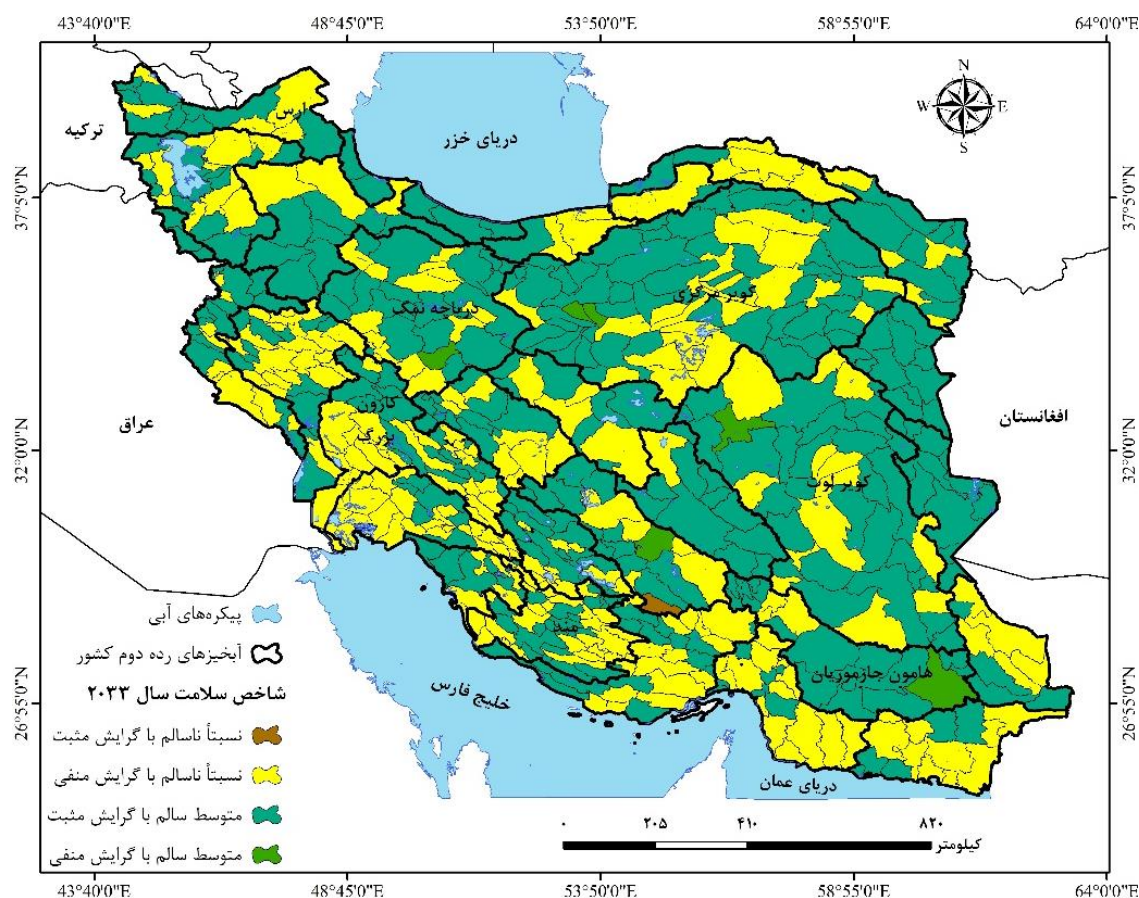
جدول ۵- ضریب Kappa و دقت تولیدی کلی مربوط به پیش‌بینی کاربری اراضی

Table 5- Kappa coefficient and overall production accuracy related to land-use prediction

سال پیش‌بینی	ضریب Kappa	تفسیر کیفی ضریب Kappa	صحت تولیدی
۲۰۳۳	0.94	توافق عالی	0.96
۲۰۴۳	0.84	توافق عالی	0.91
۲۰۵۳	0.78	توافق قابل توجه	0.87

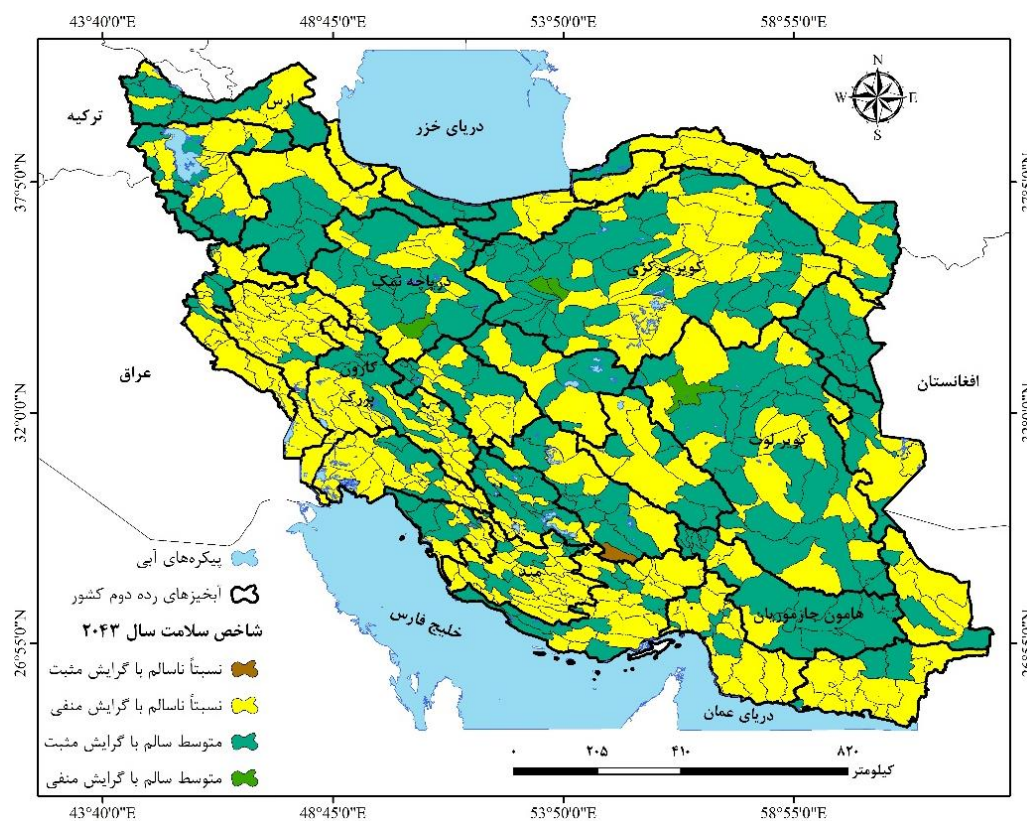
پس از کمی‌سازی و پهنه‌بندی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ، اقدام به پهنه‌بندی شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور برای سال‌های آینده شد. براین اساس،

نقشه‌های شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور برای سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ به‌ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است.



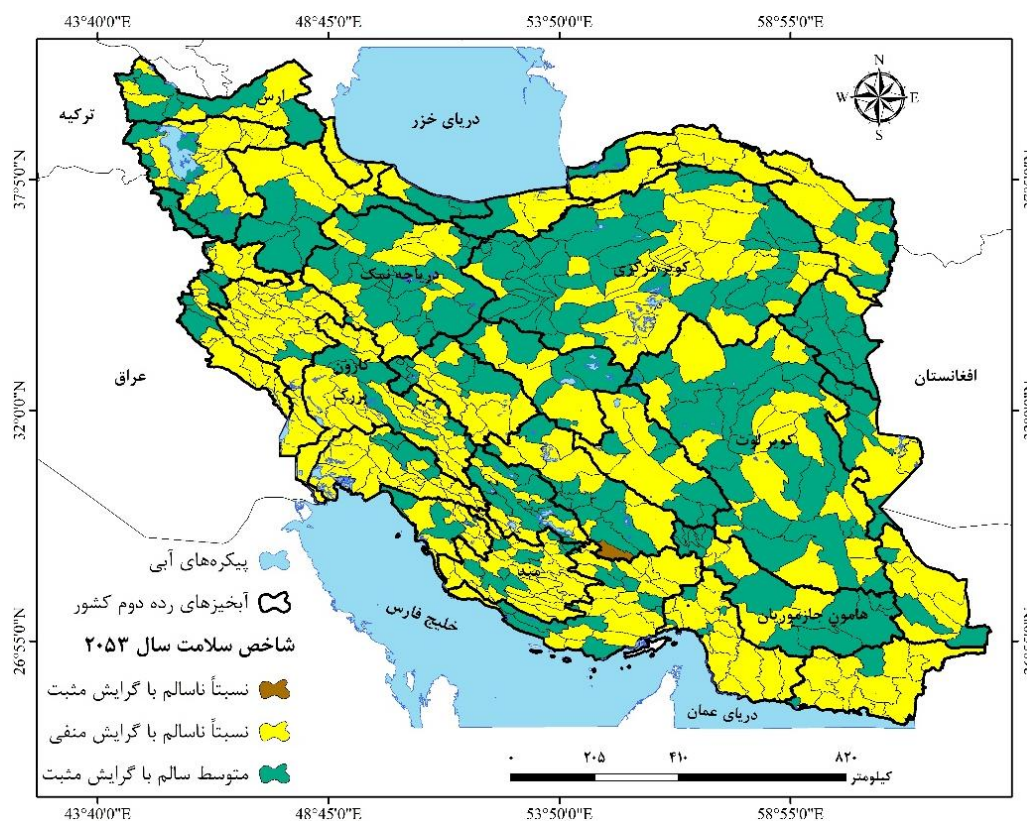
شکل ۳- پهنه‌بندی وضعیت سلامت در آبخیزهای رده سوم کشور برای ۲۰۳۳

Figure 3- Zoning of health status in Iran's third-order watersheds for 2033



شکل ۴- پهنه‌بندی وضعیت سلامت در آبخیزهای رده سوم کشور برای ۲۰۴۳

Figure 4- Zoning of health status in Iran's third-order watersheds for 2043



شکل ۵- پهنه‌بندی وضعیت سلامت در آبخیزهای رده سوم کشور برای ۲۰۵۳

Figure 5- Zoning of health status in Iran's third-order watersheds for 2053

در تحلیل وضعیت سلامت آبخیزهای کشور برای سال ۲۰۳۳ (شکل ۳)، توزیع جغرافیایی ناهمگن است. در شمال (دریای خزر)، وضعیت مطلوب است (۶۰ تا ۷۰ درصد در مناطق خوب و بسیار خوب)، به‌ویژه در گیلان و مازندران با پوشش گیاهی و بارندگی مناسب. در جنوب (دریای عمان و خلیج فارس)، وضعیت ضعیف‌تر است (۴۰ تا ۵۰ درصد در طبقات متوسط و ضعیف)، به‌ویژه در هرمزگان و سیستان و بلوچستان. در شرق (مناطق مرکزی و شرقی)، خشکسالی‌ها و مدیریت نادرست موجب ناسالم بودن بیش از ۵۰ درصد شده‌اند، به‌ویژه در خراسان رضوی و جنوبی. در غرب (زاگرس)، وضعیت نسبتاً بهتر است (۵۵ تا ۶۵ درصد خوب)، اما جنگل‌زدایی و فرسایش در استان‌های لرستان و کردستان آسیب‌زا بوده است. در نواحی فرعی، شمال‌غرب وضعیت متوسط تا خوب دارد، اما جنوب‌شرق به دلیل خشکی، نامطلوب است. در کل، تنها ۳۰ تا ۳۵ درصد آبخیزها در وضعیت متوسط و سالم قرار دارند، و بیش از ۴۰ درصد ناسالم هستند.

در سال ۲۰۴۳، وضعیت سلامت آبخیزهای کشور نشان‌دهنده تنوع جغرافیایی است. در شمال و شمال‌غربی (گیلان، مازندران، آذربایجان شرقی)، به‌دلیل جنگل‌های فراوان و بارندگی مناسب، وضعیت مطلوب (۶۰ تا ۷۰ درصد سالم و نسبتاً سالم) دارد و این یافته‌ها با نتایج مطالعات Parkes و همکاران (۲۰۱۰) و Nasiri Khiavi و همکاران (۲۰۲۴) در یک راستاست. در مناطق شرقی و جنوب‌شرقی مثل سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی، خشکسالی و فشارهای انسانی باعث افزایش نسبی مناطق ناسالم به حدود ۵۰ تا ۶۰ درصدی شده است. در غرب (کردستان)، وضعیت متوسط (۴۰ تا ۵۰ درصد) به‌دلیل توپوگرافی کوهستانی و مدیریت مناسب مشاهده شد. در جنوب و جنوب‌غربی (مثل استان‌های اصفهان، فارس)، کاهش منابع آب و فعالیت‌های کشاورزی غیراصولی باعث افزایش مناطق ناسالم به ۴۰ تا ۵۰ درصدی شده است. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی و تغییرپذیری سیل‌محور سلامت حوزه آبخیز

دروازه قرآن شیراز از سازه‌های آبخیزداری پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص سلامت آبخیز در حد متوسط بوده است. در بعضی نواحی فرعی، اثر مثبت رطوبت دریای خزر و خشکی فلات مرکزی قابل مشاهده است. در مجموع، وضعیت سلامت آبخیزها در سال ۲۰۴۳ متفاوت است و نشان می‌دهد نیازمند برنامه‌ریزی منطقه‌ای برای بهبود مدیریت منابع آب و خاک است (شکل ۴).

در سال ۲۰۵۳، وضعیت سلامت آبخیزهای کشور نشان‌دهنده تفاوت‌های منطقه‌ای قابل توجه است. در شمال، شامل گیلان و مازندران، به‌دلیل بارش زیاد و پوشش گیاهی متراکم، وضعیت مطلوب است و حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد در طبقات سالم و نسبتاً سالم قرار دارند. در شمال‌شرقی و شمال‌غربی، با کاهش بارش و فعالیت‌های انسانی، سلامت کاهش یافته و به ۳۰ تا ۴۰ درصد رسیده است. در شرق و جنوب‌شرقی، مانند خراسان رضوی، خشکسالی و برداشت بی‌رویه باعث کاهش سلامت به زیر ۲۰ درصد و غلبه مناطق ناسالم شده است. در جنوب و جنوب‌غربی مانند خوزستان، آلودگی‌های صنعتی و کشاورزی، سلامت را به ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش داده و مناطق بحرانی دیده می‌شود. در غرب و در استان کردستان، وضعیت متوسط است. مجموعاً، وضعیت آبخیزهای کشور در ۲۰۵۳ بحرانی است، و فقط در مناطق محدود شمالی قابل قبول است، در حالی‌که در بیش‌تر مناطق شرق و جنوب، وضعیت بسیار نامناسب است (شکل ۵). در این راستا، Momenian و همکاران (۲۰۱۸) زیرحوزه‌های آبخیز قطورچای در شمال‌غرب ایران بر اساس درجه سلامت آبخیز را ارزیابی و اولویت‌بندی نمودند نشان دادند که وضعیت سلامت کلیه زیرآبخیزها متوسط است. جدول ۶، نشان‌دهنده میزان درصد تأثیر هر یک از متغیرهای پویا در شاخص سلامت آبخیز در سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ است.

تحلیل سهم اثر معیارهای پویا در شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور نشان داد که برخی معیارها تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت این بوم‌سازگان‌ها داشتند.

در بین معیارهای بررسی‌شده، متوسط فرسایش آبی با سهم اثر مثبت و نسبتاً بالایی در تمام سال‌های مورد مطالعه (۷/۵۳ درصد در سال ۲۰۳۳، ۵/۳۰ درصد در ۲۰۴۳ و ۶/۲۴ درصد در ۲۰۵۳) به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر سلامت آبخیزها شناسایی شده است. این نتایج حاکی از آن است که فرسایش آبی نقش تعیین‌کننده‌ای در تخریب آبخیزها ایفا می‌کند و نیاز به اجرای برنامه‌های مدیریتی فوری برای مهار آن وجود دارد. جمعیت کل نیز با سهم اثر بسیار بالا (۱۴/۵۰ درصد در ۲۰۳۳، ۱۲/۹۹ درصد در سال ۲۰۴۳ و ۱۶/۰۷ درصد در سال ۲۰۵۳) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل فشار بر سلامت آبخیزها ظاهر شده است. این یافته نشان‌دهنده تأثیر مستقیم فعالیت‌های انسانی و توسعه سکونت‌گاه‌ها بر تخریب بوم‌سازگان‌های آبخیز است. از سوی دیگر، معیارهای مرتبط با پوشش گیاهی مانند وسعت اراضی مرتعی (۵/۷۳ درصد در سال ۲۰۳۳ و ۵/۴۲ درصد در سال ۲۰۵۳) و جنگلی (۱/۳۰ درصد در سال ۲۰۳۳ و ۱/۴۲ درصد در سال ۲۰۵۳) تأثیر

مثبتی بر سلامت آبخیزها داشته‌اند که بر اهمیت حفظ، بازیابی و احیای این اراضی تأکید می‌کند (جدول ۶). همچنین بررسی متغیرهای پویای مرتبط با نوسانات دما تأکید بر حساسیت بالای سامانه به تغییرات اقلیمی است، به‌طوری‌که نوسانات در دمای بیشینه و کمینه تأثیر بسیار بالایی دارند و اثر آن‌ها در هر سه سال، به ویژه نوسان دمای کمینه، به بیش از ۴۷/۶۶ درصد می‌رسد که این موضوع نشان می‌دهد هرگونه تغییرات اقلیمی و دمایی می‌تواند اثرات قابل‌توجهی بر سلامت محیط و سامانه‌های زیستی داشته باشد. در نهایت، اثر متغیرهای پویای مربوط به کاربری اراضی و پوشش گیاهی نیز با روند فزاینده‌ای در سال‌های مورد مطالعه ظاهر می‌شود، به گونه‌ای که در سال ۲۰۵۳ اثر آن بیش از ۵/۳۳ درصد بر شاخص سلامت است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که در برنامه‌ریزی‌های آینده، توجه ویژه به مهار و مدیریت نوسانات دما، فشارها و کاربری اراضی ضروری است، زیرا تغییرات در این عوامل تأثیر مستقیم و قابل‌توجهی بر سلامت و پایداری سامانه خواهند داشت (جدول ۶).

جدول ۶- سهم اثر معیارهای پویا در شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 6- Contribution of dynamic criteria to the health index of Iran's third-order watersheds

سهم اثر در هر سال (درصد)			معیارهای پویا
2053	2043	2033	
0.064	0.005	0.012	متوسط بارش سالیانه
0.028	0.006	0.021	متوسط فرساینده‌گی باران
0.166	0.019	0.128	متوسط دمای سالیانه هوا
0.059	0.007	0.050	بیشینه دمای سطح زمین
0.001	0.002	0.009	انحراف معیار دمای سطح زمین
0.072	0.007	0.041	متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه
0.029	0.006	0.038	متوسط سرعت باد سالیانه در ارتفاع ۲ متر
0.310	0.036	0.297	متوسط فرسایش آبی
0.019	0.000	0.001	خسارت ناشی از فرسایش آبی
0.164	0.011	0.150	انحراف معیار شاخص خشکی دما-گیاه خاک
0.171	0.022	0.108	کمینه شاخص خاک لخت
0.224	0.026	0.162	بیشینه شاخص خاک لخت
0.072	0.009	0.076	انحراف معیار شاخص خاک لخت
0.096	0.007	0.031	کمینه شاخص شوری خاک
0.015	0.003	0.011	بیشینه شاخص شوری خاک
0.122	0.009	0.032	انحراف معیار شاخص شوری خاک

ادامه جدول ۶- سهم اثر معیارهای پویا در شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 6- Contribution of dynamic criteria to the health index of Iran's third-order watersheds

سهم اثر در هر سال (درصد)			معیارهای پویا
2053	2043	2033	
0.269	0.033	0.226	وسعت اراضی مرتعی
0.095	0.010	0.064	وسعت اراضی بایر
0.071	0.007	0.051	وسعت اراضی جنگلی
0.019	0.000	0.003	وسعت اراضی زراعی دیم و آبی
0.187	0.022	0.151	وسعت مناطق مسکونی
0.113	0.014	0.088	کمینه شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی
0.004	0.004	0.021	بیشینه شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی
0.015	0.005	0.024	متوسط شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی
0.026	0.011	0.044	انحراف معیار شاخص نرمال شده تفاضل خاک‌ورزی
0.799	0.088	0.573	جمعیت کل
0.101	0.013	0.130	ضریب تغییرات بارش سالیانه
0.071	0.006	0.066	ضریب تغییرات بارش بیشینه
0.023	0.002	0.011	ضریب تغییرات بارش کمینه
0.078	0.008	0.082	ضریب تغییرات میانه بارش
0.016	0.003	0.026	ضریب تغییرات فرساینده‌گی باران
0.005	0.004	0.009	تراکم فرساینده‌گی باران
0.343	0.020	0.021	متوسط شاخص Palmer
0.009	0.002	0.009	ضریب تغییرات شاخص Palmer
0.087	0.014	0.097	ضریب تغییرات دمای سطح زمین
0.189	0.023	0.180	ضریب تغییرات سرعت متوسط باد
0.150	0.018	0.132	ضریب تغییرات سرعت بیشینه باد
0.000	0.000	0.000	ضریب تغییرات سرعت کمینه باد
0.002	0.002	0.024	ضریب تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه
0.112	0.011	0.051	نسبت متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل به متوسط بارش سالیانه
5.189	0.369	3.594	کمینه ضریب تغییرات دمای متوسط
10.953	1.344	11.367	کمینه ضریب تغییرات دمای بیشینه
2.753	0.375	2.492	بیشینه ضریب تغییرات دمای بیشینه
6.276	1.074	8.774	متوسط ضریب تغییرات دمای بیشینه
3.924	0.494	3.786	بیشینه ضریب تغییرات دمای کمینه
0.230	0.025	0.176	ضریب تغییرات کمینه دمای کمینه
30.538	47.654	31.062	انحراف معیار ضریب تغییرات دمای بیشینه
31.031	47.666	31.222	انحراف معیار ضریب تغییرات دمای کمینه
0.007	0.003	0.015	کمینه شاخص نرمال شده تفاضل برف
0.139	0.014	0.098	متوسط شاخص نرمال شده تفاضل برف
0.001	0.001	0.013	انحراف معیار شاخص نرمال شده تفاضل برف
0.007	0.000	0.008	ضریب تغییرات شاخص نرمال شده تفاضل برف
0.037	0.004	0.025	کمینه شاخص نرمال شده تفاضل آب
0.011	0.002	0.013	بیشینه شاخص نرمال شده تفاضل آب
0.015	0.002	0.023	متوسط شاخص نرمال شده تفاضل آب
0.136	0.012	0.070	انحراف معیار شاخص نرمال شده تفاضل آب
0.205	0.027	0.319	ضریب تغییرات شاخص نرمال شده تفاضل آب

ادامه جدول ۶- سهم اثر معیارهای پویا در شاخص سلامت آبخیزهای رده سوم کشور

Table 6- Contribution of dynamic criteria to the health index of Iran's third-order watersheds

سهم اثر در هر سال (درصد)			معیارهای پویا
2053	2043	2033	
0.013	0.004	0.007	انحراف معیار رطوبت زیرسطحی
0.004	0.001	0.021	ضریب تغییرات رطوبت زیرسطحی
0.056	0.006	0.043	ضریب تغییرات رطوبت سطحی
0.099	0.011	0.098	ضریب تغییرات کربن آلی خاک
0.054	0.001	0.014	ضریب تغییرات شاخص خاک لخت
0.022	0.006	0.038	ضریب تغییرات شوری خاک
0.153	0.011	0.155	ضریب تغییرات شاخص خشکی دما-پوشش گیاهی خاک
0.042	0.006	0.061	کمینه شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی
0.033	0.006	0.022	بیشینه شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی
0.032	0.003	0.002	انحراف معیار شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی
0.476	0.035	0.180	ضریب تغییرات شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی
0.260	0.015	0.255	کمینه شاخص هواویز
0.063	0.001	0.132	متوسط شاخص هواویز
0.015	0.012	0.002	شاخص تنوع Shannon
0.432	0.012	0.331	طبیعت‌گرایی
0.061	0.029	0.068	نسبت وسعت اراضی جنگلی به وسعت آبخیز
0.340	0.007	0.252	نسبت اراضی مرتعی به وسعت آبخیز
0.205	0.006	0.160	نسبت وسعت مناطق مسکونی به وسعت آبخیز
0.192	0.004	0.053	ضریب تغییرات شاخص تفاضل نرمال شده خاک ورزی
0.248	0.005	0.034	شیب Sen شاخص تفاضل نرمال شده خاک ورزی
0.033	0.067	0.028	تراکم زراعی
0.635	0.082	0.446	تراکم جمعیت کل
0.677	0.109	0.558	وسعت عملیات زیستی آبخیزداری انجام‌نشده
0.000	0.000	0.733	وسعت عملیات زیستی آبخیزداری انجام‌شده

مدیریتی جامعی با تمرکز بر مهار فرسایش، مدیریت جمعیت و سکونت‌گاه‌های انسانی، حفظ پوشش گیاهی و سازگاری با تغییرات اقلیمی تدوین و اجرا شود. همچنین، توجه به معیارهای پویا با سهم اثر منفی مانند تبخیر و تعرق و شاخص‌های خشکی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آینده مؤثر باشد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری کلی

بررسی اثرات تغییرات زمانی متغیرهای هیدرواقليمی و پیش‌بینی تحولات کاربری اراضی برای سال‌های آینده برای ارزیابی سلامت آبخیز به‌شدت ضروری است. این امر کمک می‌کند تا در مدیریت آبخیز، تدابیر مناسبی اتخاذ شود. از این‌رو، تحلیل این مشخصه‌ها و تأثیر آن‌ها

برخی دیگر از معیارهای اقلیمی نیز نقش پررنگی در سلامت آبخیزها ایفا کرده‌اند. به‌عنوان مثال، متوسط دمای سالیانه هوا با سهم اثر مثبت (۳/۲۴) درصد در سال ۲۰۳۳ و ۳/۳۵ درصد در سال ۲۰۵۳ و تبخیر و تعرق پتانسیل با سهم اثر منفی (۱/۰۴- درصد در سال ۲۰۳۳ و ۱/۴۵- درصد در سال ۲۰۵۳) نشان‌دهنده تأثیر تغییرات اقلیمی بر این بوم‌سازگان‌ها بودند. همچنین، معیارهای مرتبط با خاک مانند شاخص خاک لخت و شوری خاک نیز سهم اثر قابل‌توجهی داشته‌اند که بیانگر حساسیت این سامانه‌ها به تغییرات کیفی خاک است. در مجموع، نتایج این تحلیل نشان داد که سلامت آبخیزهای رده سوم کشور تحت تأثیر ترکیبی از عوامل انسانی، اقلیمی و هیدرولوژیکی قرار دارد. برای بهبود وضعیت این بوم‌سازگان‌ها، لازم است راهبردهای

فرسایش، اثرات تشدیدکننده داشته و منجر به کاهش سلامت کلی آبخیزها شده است.

بررسی تأثیر کمی معیارهای پویا در شاخص سلامت آبخیز نشان داد که معیارهای اقلیمی بیش‌ترین تأثیر را در میزان تغییرات شاخص سلامت آبخیز در آبخیزهای رده سوم کشور داشتند. از مهم‌ترین منابع خطا و عدم قطعیت در پژوهش حاضر می‌توان به خطاهای اندازه‌گیری در داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و سنجش از دور، داده‌های مفقود یا ناقص در برخی متغیرها (مانند رطوبت زیرسطحی و غلظت گازها)، عدم قطعیت در سناریوهای تغییر کاربری اراضی (به‌ویژه تحت تأثیر سیاست‌های انسانی) و خطاهای ناشی از مقیاس‌گذاری داده‌های اقلیمی جهانی به مقیاس محلی اشاره نمود. همچنین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی علاوه بر روش رگرسیون چندجمله‌ای، برای تعیین سهم اثرات معیارهای مختلف در سلامت آبخیز از سایر روش‌های بهینه مانند یادگیری ماشین و یادگیری عمیق استفاده شود. از طرفی پیشنهاد می‌شود با راه‌اندازی سامانه پایش برخط مبتنی بر اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای از متغیرهای پویای هیدرواقلمی و انسانی اقدام شود. درنهایت، تدوین برنامه‌های مدیریت مشارکتی با گرداران محلی (آبخیزنشینان محلی، کارشناسان و مدیران اجرایی و سیاست‌گذاران محلی)، ارائه سندهای سیاستی به سایر سازمان‌های اجرایی و نظارتی و تبیین راهبردهای ملی حفظ و بهبود سلامت آبخیزهای کشور و توسعه سامانه‌های پشتیبانی تصمیم برای کمک به مدیران در انتخاب راهکارهای بهینه برای پیشینه‌سازی سلامت و امنیت آبخیزهای کشور پیشنهاد می‌شود.

سپاس‌گزاری این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره "۴۰۳۹۰۲۹" انجام شده است.

بر وضعیت سلامت حوزه آبخیز، همچنین پیش‌بینی تغییرات احتمالی و مقایسه آن با وضعیت کنونی سلامت، ازجمله اهداف کلیدی این پژوهش به‌شمار می‌رود. براین اساس، باید اقداماتی متناسب با این پیش‌بینی‌ها انجام گیرد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی سلامت آبخیز براساس تغییرپذیری متغیرهای پویا در حوزه‌های آبخیز رده سوم کشور به‌عنوان واحدهای کاری مناسب مدیریتی در سطح کلان و بخش‌های اصلی اجرایی برنامه‌ریزی شده است. براساس نتایج، بررسی تطبیقی نقشه‌های سلامت آبخیز در بازه‌های زمانی سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ نشان‌دهنده روند نگران‌کننده تخریب تدریجی آبخیزهای رده سوم در سطح کشور بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شاخص سلامت آبخیزها تحت تأثیر ترکیب پیچیده‌ای از عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی و انسانی دچار تحول خواهد شد. در شرایط فعلی، ناهمگونی شدید در توزیع سلامت آبخیزها مشاهده شد. بر اساس نتایج، در سال ۲۰۳۳، مناطق شمالی کشور در طبقه متوسط سالم، وضعیت نسبتاً مطلوبی داشتند. در حالی که مناطق جنوب‌شرقی در طبقه نسبتاً ناسالم، وضعیت بحرانی‌تری نشان دادند. این الگو عمدتاً متأثر از توزیع نابرابر بارش‌ها و فشارهای انسانی متفاوت بود. برای سال ۲۰۴۳، ظهور الگوهای جدید مشهود بود. مناطق شمال‌غربی دارای وضعیت سالم، اما مناطق مرکزی و جنوبی ناسالم بودند. از طرفی برای سال ۲۰۵۳، تشدید بحران در مقیاس ملی مشهود بود. حتی مناطق شمالی با کاهش درجه سلامت نسبت به سال ۲۰۴۳ مواجه بودند. گسترش طبقه‌های ناسالم در برخی استان‌های مرکزی، بیان‌گر تشدید روند بیابان‌زایی بود. مناطق شرقی و جنوب‌شرقی کشور، بیش‌ترین آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند. این امر ناشی از ترکیب کاهش بارش، افزایش دما و فشارهای انسانی است. حتی مناطق شمالی با منابع آب نسبتاً کافی، با کاهش سلامت تا ۲۰۵۳ مواجه هستند که نشان‌دهنده کاهش ظرفیت جبران‌پذیری بوم‌سازگان‌هاست. به‌طور کلی، تعامل عوامل مختلف مانند کاهش بارش و افزایش

References

- Chamani, R., Vafakhah, M., & Sadeghi, S. H. R. (2023). Changes in reliability–resilience–vulnerability-based watershed health under climate change scenarios in the Efin Watershed, Iran. *Natural Hazards*, 116(2), 2457–2476. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05774-1>
- Ebrahimi Gatgash, Z., & Sadeghi, S. H. R. (2023). Prioritization-based management of the watershed using health assessment analysis at sub-watershed scale. *Environment, Development and Sustainability*, 25(9), 9673–9702. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02455-8>
- Fathizad, H., Karimi, H., Tavakolli, M., Bzgir, M. (2014). *Investigating the trend of land use changes in the arid and semi-arid Doiraj watershed using remote sensing and GIS*, First International Conference on Landscape Ecology, November 29-30, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
- Hatefi, M., & Sadeghi, S. H. (2021). Perspective zoning of Iran provinces based on water stress, flood, drought, and rainfall erosivity indices. *Watershed Engineering and Management*, 13(1), 213–221. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.122235.1502> (In Persian)
- Hazbavi, Z., Jantieni, B., Nunes, J. P., Keesstra, S. D., & Sadeghi, S. H. R. (2018). Changeability of Reliability, Resilience, and Vulnerability Indicators with Respect to Drought Patterns. *Ecological Indicators*, 87, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.054>
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S. H. R., Gholamalifard, M., & Davudirad, A. A. (2020). Watershed health assessment using the pressure–state–response (PSR) framework. *Land Degradation & Development*, 31(1), 3–19. <https://doi.org/10.1002/ldr.3420>
- Hughes, H. M., Koolen, S., Kuhnert, M., Baggs, E. M., Maund, S., Mullier, G. W., & Hillier, J. (2023). Towards a farmer-feasible soil health assessment that is globally applicable. *Journal of Environmental Management*, 345, 118582. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118582>
- Jat, M. K., Khare, D., Garge, K., & Shankar, V. (2008). Remote Sensing and GIS-based assessment of urbanization and degradation of watershed health. *Urban Water Journal*, 6(3), 251–263. <https://doi.org/10.1080/15730620801971920>
- Kabolizadeh, M., Rangzan, K., & Mohammadi, Sh. (2022). Increasing the accuracy of monthly and annual estimates of soil loss in Iran by considering the effect of snow cover in reducing rainfall erosivity. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1344. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10592-7>
- Liang, P., Liming, D., & Guijie, Y. (2010). Ecological security assessment of Beijing based on PSR model. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 832–841. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.094>
- Momenian, P., Nazarnezhad, H., Miryaghoubzadeh, M., & Mostafazadeh, R. (2018). Assessment and prioritizing of subwatersheds based on watershed health scores (case study: Ghotorchay, Khoy, West Azerbaijan). *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 1–13. <https://doi.org/10.29252/jwmr.9.17.1> (In Persian)
- Nasiri Khiavi, A., Mostafazadeh, R., & Adhami, M. (2023a). Groundwater quality modeling and determining critical points: a comparison of machine learning to Best–Worst Method. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30530-8>
- Nasiri Khiavi, A., Tavoosi, M., & Kuriqi, A. (2023b). Conjunct application of machine learning and game theory in groundwater quality mapping. *Environmental Earth Sciences*, 82(17). <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11059-y>
- Nasiri Khiavi, A., Tavoosi, M., Khodamoradi, H., & Kuriqi, A. (2024). Integration of Watershed Eco-Physical Health through Algorithmic Game Theory and Supervised Machine Learning. *Groundwater for Sustainable Development*, 26, 101216. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101216>
- Odemis, B., & Evrendilek, F. (2008). Multivariate analysis of watershed health and sustainability in Turkey. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), 265–272. <https://doi.org/10.3843/SusDev.15.3.6>
- Parkes, M. W., Morrison, K. E., Bunch, M. J., Hallström, L. K., Neudoerffer, R. C., Venema, H. D., & Waltner-Toews, D. (2010). Towards integrated governance for water, health, and social-ecological systems: *The watershed governance prism*. *Global Environmental Change*, 20(4), 693–704. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.06.001>
- Rajabi, M. R., Vafakhah, M., & Sadeghi, S. H. R. (2024). Predicting the effect of hydro-climatic and land-use dynamic variables on watershed health status. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(31), 44150–44168. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34071-6>
- Rodriguez-Floes, S., Munoz-Robles, C., Quevedo Tiznado, J. A., & Julio-Miranda, P. (2025). Assessment of watershed health, integrating environmental, social, and climate change criteria into a fuzzy logic framework. *Science of The Total Environment*, 960. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178316>
- Sadeghi, S. H. R., Sadoddin, A., Asadi Neivan, O. A., Zarekarizi, A., & Moayeri, M. H. (2019). *Watershed health and sustainability (fundamentals, approaches, and assessment*

- methods). Tarbiat Modares University Press. (In Persian)
- Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Zonation of health dynamism for the Shazand Watershed based on low and high flow discharges. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 589–608. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427> (In Persian)
- Sadeghi, S. H., Tavoosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh, H., Emamzadeh, F. A., Bahlekeh, M., Sokhangoy, F. K., & Chamani, R. (2022a). Evaluation and variability of flood-oriented health of Shiraz Darwazeh Quran Watershed from watershed management structures. *Water and Soil*, 36(5), 561-577. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.78150.1190> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., & Hazbavi, Z. (2015). Trend analysis of the rainfall erosivity index at different time scales in Iran. *Natural Hazards*, 77, 383–404. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1607-z>
- Sadeghi, S.H.R., & Tavangar, S. (2015). Development of stational models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards*, 77, 429-443. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1608-y>
- Sadeghi, S.H.R., Chamani, R., Silabi, M.Z., Tavosi, M., Katebikord, A., Darvishan, A.K., ... & Rekabdarkolaei, H.M. (2023b). Watershed health and ecological security zoning throughout Iran. *Science of the Total Environment*, 905, 167123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167123>
- Sadeghi, S.H.R., Vafakhah, M., Moosavi, V., Pourfallah Asadabadi, S., Sadeghi, P.S., Khaledi Darvishan, A., Bagheri Fahraji, R., Mosavinia, S.H., Majidnia, A., Gharemahmudli, S., & others. (2022b). Assessing the health and ecological security of a human-induced watershed in central Iran. *Ecosystem Health and Sustainability*, 8(1), 2090447. <https://doi.org/10.1111/nrm.12371>
- Sadeghi, S.H.R., Zabihi Silabi, M., Sarvi Sadrabad, H., Riahi, M., & Modarresi Tabatabaei, S. (2023a). Watershed health and ecological security modeling using anthropogenic, hydrologic, and climatic factors. *Natural Resource Modeling*, e12371. <https://doi.org/10.1111/nrm.12371>
- Singh, A., Dieye, A., & Finco, M. (1999). Assessing environmental condition of major river basins in Africa as Surrogates for watershed health. *Ecosystem Health*, 5(4), 265-274. <https://doi.org/10.1046/j.1526-0992.1999.09945.x>
- Talampas, S. I., Shrestha, S., Mohanasundaram, S., & Loc, H. H. (2025). Development of a watershed health assessment framework integrating ecological, social, cultural, economic, and policy attributes. *International Journal of River Basin Management*, 23(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/15715124.2023.2242830>
- Wang, Q., Li, S., & Li, R. (2019). Evaluating water resource sustainability in Beijing, China: Combining PSR model and matter-element extension method. *Journal of Cleaner Production*, 206, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.057>
- Xia, J., Zhang, Y., Zhao, C., & Bunn, S. E. (2014). Bioindicator assessment framework of river ecosystem health and the detection of factors influencing the health of the Huai River Basin, China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(8), 1-34. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000989](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000989)
- Yu, G., Yu, Q., Hu, L., Zhang, S., Fu, T., Zhou, X., He, X., Liu, Y., Wang, S., & Jia, H. (2013). Ecosystem health assessment based on analysis of a land-use database. *Applied Geography*, 44, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.07.010>
- Zakeri, M. A., Mirnia, S. K., & Moradi, H. (2022). Assessment of water security in the large watersheds of Iran. *Environmental Science & Policy*, 127, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.009>
- Zeraatpisheh, M., Garosi, Y., Owliaie, H. R., Ayoubi, S., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Scholten, T., & Xu, M. (2022). Improving the spatial prediction of soil organic carbon using environmental covariates selection: A comparison of a group of environmental covariates. *Catena*, 208, 105723. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105723>
- Zhang, F., Zhang, J., Wu, R., Ma, Q., & Yang, J. (2015). Ecosystem health assessment based on DPSIRM framework and health distance model in Nansi Lake, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30, 1235-1247. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1109-2>

Developing management plans for the Goorsefid Watershed using a nested DPSIR framework

Gholamreza Khosravi^{1*}, Vahedberdi Sheikh¹, Amir Sadoddin¹, Ali Shahbazi², Omid Asadi Nalivan³, Ehsan Alvandi⁴, Arash Zare Garizi¹

1. Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. Department of Arid and Mountain Regions Reclamation, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Department of Water resources engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

4. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

* Corresponding author Email: gh.khosravi63@gmail.com

(Received: 26 July 2025

Revised: 16 August 2025

Accepted: 12 December 2025)

Extended Abstract

Introduction: Integrated watershed management is a cornerstone of sustainable development, encompassing policies and actions aimed at conserving water and soil resources, preventing environmental degradation, and enhancing the quality of life for local communities. As natural units, watersheds play a critical role in maintaining ecological balance, preserving biodiversity, and supplying freshwater. Effective management requires a holistic approach—considering water, soil, vegetation, wildlife, and human activities—while integrating economic, social, and environmental dimensions to create synergies. One widely used tool in this context is the DPSIR framework, which analyzes cause-and-effect relationships among system components. However, in its conventional form, DPSIR often merges driving forces and pressures, making it difficult to isolate the specific impact of each pressure on particular states. This limitation typically leads to generalized strategies. To address this issue, this study applies the nested DPSIR framework (Atkins *et al.*, 2011) to develop targeted management strategies for the Goorsefid Watershed in Tehran Province, with active participation from local stakeholders.

Materials and Methods: The nested DPSIR process involved eight key steps: (1) constructing individual DPSIR cycles, (2) compiling a DPSIR table, (3) designing a conceptual map, (4) developing a decision matrix, (5) prioritizing pressures, (6) scoring responses based on pressure significance, (7) evaluating responses against watershed health and sustainability criteria, and (8) ranking responses. In this study, the environmental, economic, and social states of the watershed were assessed both quantitatively and qualitatively through literature review, field surveys, and stakeholder interviews. The remaining components were analyzed following the nested DPSIR methodology. Data were collected via questionnaires administered to 60 local residents and 25 experts and were validated by 12 specialists. Reliability and internal consistency were tested using Cronbach's alpha, and a five-point Likert scale was used to assess the weight and importance of the DPSIR components.

Results and Discussion: Five key drivers were identified, leading to 18 major pressures. These pressures caused changes in 17 states and ultimately affected 23 ecosystem services. To address these challenges, 27 management strategies were proposed. The five highest-priority pressures—based on stakeholder feedback and their recurrence across multiple states—were: (1) land-use change and vegetation degradation, (2) lack of a coherent water-use system in agriculture and livestock, (3) overexploitation of surface and groundwater resources, (4) drought, and (5) issuance of grazing permits to non-local, non-pastoralist individuals. The proposed responses were categorized as follows: 11 physical, 6 political, 1 managerial, 5 economic, 1 socio-cultural, and 3 ecological. The nested DPSIR framework effectively illustrated the complex interactions between human and natural factors in a simplified and more accessible manner. As a methodological innovation, this study introduced a coding system for nested DPSIR components to reduce redundancy, maintain structural consistency, and improve visual understanding of interrelationships.

Conclusion: Applying the nested DPSIR framework—through mapping individual cycles, constructing interaction matrices, developing conceptual diagrams, conducting quantitative analysis, and prioritizing components—enabled the identification of causal relationships across all system elements. This approach provided a comprehensive understanding of watershed dynamics, supported precise goal-setting, facilitated issue prioritization, and ultimately guided the selection of the most effective management strategies. Therefore, it can be concluded that applying this framework not only enhances the decision-making process but also fosters active participation of local communities and promotes the integration of scientific knowledge with traditional experience. This approach may serve as a model for sustainable management of other watersheds across the country.

Keywords: Management strategies, Ecosystem, Causal Relationships, Prioritization of responses

Citation: Khosravi, Gh., Sheikh, V., Sadoddin, A., Asadi Nalivan, O., Alvandi, E., & Zare Garizi, A. (2026). Developing management plans for the Goorsefid Watershed using a nested DPSIR framework. *Integrated Watershed Management*, 6(2), 23-46. doi= 10.22034/iwm.2025.2066974.1242

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





کاربست چارچوب مرکب DPSIR در تدوین برنامه‌های مدیریتی حوزه آبخیز گورسفید

غلامرضا خسروی^{۱*}، واحدبردی شیخ^۱، امیر سعدالدین^۱، علی شهبازی^۲، امید اسدی نلیوان^۳، احسان

الوندی^۴، آرش زارع گاریزی^۱

۱. گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲. گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۴. پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: gh.khosravi63@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

چکیده مبسوط

مقدمه: برنامه‌ریزی و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز از ارکان مهم تحقق توسعه پایدار است. این فرآیند شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و سیاست‌هاست که با هدف حفظ منابع آب‌و خاک، جلوگیری از تخریب محیط‌زیست و بهبود کیفیت زندگی ساکنان اجرا می‌شود. حوزه‌های آبخیز به‌عنوان واحدهای طبیعی، نقش مهمی در تعادل بوم‌شناختی، حفظ تنوع زیستی و تأمین آب شیرین دارند؛ بنابراین، مدیریت آن‌ها مستلزم توجه هم‌زمان به تمام اجزای محیط‌زیست، شامل آب، خاک، گیاهان، جانوران و فعالیت‌های انسانی است. یک برنامه‌ریزی جامع باید ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را به‌طور یکپارچه در نظر بگیرد و هم‌افزایی میان این ابعاد را تقویت کند. یکی از ابزارهای کلیدی در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، چارچوب DPSIR است که با تحلیل روابط علی و معلولی میان مؤلفه‌ها، امکان درک بهتر وضعیت و چالش‌ها را فراهم می‌کند. با این حال، در چارچوب مرسوم DPSIR، فشارها و عوامل تغییر به صورت ترکیبی بررسی می‌شوند و نقش دقیق هر عامل فشار روی وضعیت‌ها به‌طور مجزا مشخص نمی‌شود. در نتیجه در انتهای مراحل انجام این چارچوب صرفاً می‌توان راهبردهای کلی ارائه کرد. به همین علت، در سال ۲۰۱۱، Atkins و همکاران چارچوب مرکب DPSIR را توسعه دادند. هدف این مقاله معرفی کاربرد چارچوب مرکب DPSIR به‌عنوان ابزاری کاربردی برای تدوین برنامه‌ها و راهکارهای مدیریتی در حوزه آبخیز گورسفید (استان تهران) با مشارکت ذینفعان محلی است.

مواد و روش‌ها: بطور کلی چارچوب مرکب DPSIR به‌ترتیب شامل هشت مرحله: ۱- ایجاد چرخه منفرد DPSIR، ۲- تهیه جدول DPSIR، ۳- طراحی نقشه مفهومی، ۴- ساخت ماتریس تصمیم‌گیری، ۵- اولویت‌بندی فشارها، ۶- امتیازدهی به پاسخ‌ها بر اساس اهمیت و امتیاز فشارها، ۷- ارزیابی راهکارها بر اساس معیارهای سلامت و پایداری آبخیز و ۸- اولویت‌بندی راهکارها است. در این تحقیق، ابتدا با بررسی سوابق مطالعات حوزه، انجام ارزیابی میدانی و مصاحبه با ذینفعان، وضعیت جنبه‌های مختلف محیطی، اقتصادی و اجتماعی به صورت کمی و کیفی مشخص شد، سپس سایر مؤلفه‌ها بر اساس مراحل چارچوب مرکب DPSIR تحلیل شدند. نظرات ۶۰ نفر از افراد محلی و ۲۵ نفر از کارشناسان خبره از طریق پرسشنامه گردآوری شد. روایی پرسشنامه‌ها توسط ۱۲ نفر از کارشناسان، متخصصان و اساتید دانشگاه تأیید شد. برای سنجش پایایی و هم‌هنگی درونی پرسش‌ها، از فرمول آلفای کرونباخ استفاده شد. برای تعیین اهمیت مؤلفه‌های DPSIR، از طیف پنج گزینه‌ای لیکرت استفاده شد.

نتایج و بحث: در این تحقیق، پنج پیشران شناسایی شد که باعث ایجاد ۱۸ فشار تأثیرگذار در حوزه آبخیز بوده و این فشارها نیز منجر به تغییر ۱۷ وضعیت شده و در نتیجه ۲۳ جنبه تحت تأثیر قرار گرفته است. برای کاهش فشارها و بهبود وضعیت، ۲۷ راهبرد/راهکار پیشنهاد شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، پنج عامل فشار اولویت‌دار بر اساس نظرات جوامع محلی، کارشناسان و همچنین میزان فراوانی فشار در وضعیت‌های مختلف عبارتند از: ۱- تصرف و تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی، ۲- ضعف الگو و نظام منسجم بهره‌برداری از آب در کشاورزی و دامداری، ۳- بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آب (سطحی و زیرزمینی)، ۴- خشکسالی و ۵- صدور پروانه چرا برای افراد غیربومی و غیر دامدار. از میان وضعیت‌ها، برای وضعیت فیزیکی ۱۱ راهکار، وضعیت سیاسی شش راهکار، وضعیت مدیریتی یک راهکار، وضعیت اقتصادی پنج راهکار، وضعیت اجتماعی- فرهنگی یک راهکار و وضعیت بوم‌شناختی سه راهکار با بیشترین اثرگذاری شناسایی و اولویت‌بندی شدند. چارچوب مرکب DPSIR، تعاملات پیچیده بین عوامل انسانی و طبیعی را به شیوه‌ای ساده و قابل فهم‌تر به طور مؤثر نشان داد. به عنوان نوآوری این پژوهش، یک الگوی کدگذاری برای مؤلفه‌های چارچوب مرکب DPSIR طراحی شد تا از تکرار نوشتار جلوگیری، انسجام ساختاری حفظ و درک بصری روابط بین مؤلفه‌ها بهبود یابد.

نتیجه‌گیری: به کارگیری چارچوب مرکب DPSIR با ترسیم چرخه‌های منفرد، ایجاد ماتریس اثرات متقابل، تهیه نقشه مفهومی، تحلیل کمی و اولویت‌بندی مؤلفه‌ها، امکان شناسایی روابط علی میان همه عناصر را فراهم کرد. این امر منجر به درک جامع از سامانه، تعیین اهداف دقیق، اولویت‌بندی مشکلات و در نهایت انتخاب مؤثرترین راهکارها شد. بنابراین می‌توان گفت استفاده از این چارچوب نه تنها به بهبود فرآیند تصمیم‌سازی کمک می‌کند، بلکه زمینه را برای مشارکت فعال جوامع محلی و همگرایی میان دانش علمی و تجارب بومی فراهم می‌سازد. این موضوع می‌تواند به عنوان الگویی برای مدیریت پایدار سایر حوزه‌های آبخیز کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: راهبردهای مدیریتی، بوم‌سازگان، روابط علی-معلولی، اولویت‌بندی پاسخ‌ها.

استناد: خسروی، غ.، شیخ، و.، سعدالدین، امیر، شهبازی، ع.، اسدی نلیوان، الف.، الوند، الف. و زارع گاریزی، الف. (۱۴۰۵).
کاربست چارچوب مرکب DPSIR در تدوین برنامه‌های مدیریتی حوزه آبخیز گورسفید. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز،
۲۳-۴۶، (۲)، ۶.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترسی است.

مقدمه

رشد جمعیت و لزوم تأمین نیازهای زیستی انسان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، باعث بهره‌برداری ناپایدار از منابع طبیعی شده است. سیاست افزایش تولید از طریق استفاده بیش‌ازحد از منابع، امروزه بسیاری کشورها را با بحران جدی بخصوص در زمینه آب و محیط‌زیست مواجه کرده است (Agyemang et al., 2007; Ashfaq et al., 2019; Bayat et al., 2021). در ایران نیز منابع طبیعی با تهدیدهایی مانند تغییر اقلیم، خشکسالی، سیل، کمبود و آلودگی آب، فرسایش شدید خاک، بیابان‌زایی و تخریب جنگل مواجه است (Sheikh et al., 2020; Mosaffaie et al., 2021). با وجود تلاش‌های متعدد پژوهشگران، مدیران و سیاست‌گذاران برای کنترل و کاهش چالش‌های موجود، نتایج حاصل بیانگر این امر است که تلاش‌های صورت گرفته فاقد اثربخشی قابل‌ملاحظه بوده است. به همین دلیل، شناخت آسیب‌های پیش‌روی آبخیزداری در ایران و پیامدهای آن، مهم‌ترین گام در اجرای برنامه‌های مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در کشور است (Bell et al., 2012; Sadoddin et al., 2017; Gebremedhin et al., 2018). در این راستا یک رویکرد سازگار می‌تواند دیدگاه بخش‌های مختلف تصمیم‌گیری را هم‌سو کرده و با درک بهتر منابع و شرایط محیطی، کیفیت مدیریت را بهبود بخشد. اساس این نوع مدیریت، توسعه اقداماتی است که نه‌تنها برای دستیابی به اهداف اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و سیاسی طراحی شده‌اند، بلکه به همان اندازه برای یادگیری و بهبود مستمر نیز کارآمد باشند (Ebrahimi, 2021; Deitch et al., 2021; Bahmani et al., 2021). یکی از رویکردهای پرکاربرد در مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی، چارچوب "پیشران- فشار- وضعیت- اثر- پاسخ" (DPSIR¹) است (Carnohan et al., 2023; Akbari et al., 2021; Zhao et al., 2021).

این چارچوب، ساختاری منظم برای تحلیل مسائل محیط‌زیستی در مقیاس‌های مختلف، از آبخیزهای کوچک تا سامانه‌های جهانی، فراهم می‌کند (Gregory et al., 2013; Hammond et al., 2018). پیشینه چارچوب‌های تحلیلی محیط‌زیست را می‌توان به مدل «تنش-واکنش» مؤسسه آمار کانادا در دهه ۱۹۷۰ میلادی نسبت داد که تمرکز آن بر شناسایی فشارهای انسانی و واکنش‌های اجتماعی به تغییرات محیطی بود (Gregory et al., 2013; Borja et al., 2006). در سال ۱۹۹۰، سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD²) مدل مفهومی فشار-وضعیت-پاسخ (PSR³) را معرفی کرد که بر رابطه علت و معلول میان فعالیت‌های انسانی، تغییرات محیطی و اقدامات مدیریتی تأکید داشت (Carr et al., 2007). چارچوب PSR به سرعت در سطح بین‌المللی به عنوان ابزاری استاندارد برای گزارش‌دهی وضعیت محیط‌زیست و ارزیابی سیاست‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Hansson et al., 2008). با پیشرفت مطالعات محیط زیستی، پژوهشگران دریافتند که PSR قادر به پوشش کامل پیچیدگی‌های تعاملات میان عوامل انسانی و اکوسیستم‌ها نیست. این محدودیت‌ها منجر به توسعه نسخه‌های تکامل‌یافته‌ای مانند PSIR⁴، که اثرات تغییرات محیطی بر جامعه و اکوسیستم را بهتر نشان می‌دهد، و سپس مدل‌های DPSEA⁵ و DPSEEA⁶ شد که ابعاد سلامت انسانی و چرخه اثرات محیطی را به چارچوب اضافه می‌کردند (Kagalou et al., 2012). در ادامه، چارچوب DPSIR شکل گرفت که توانست یک دیدگاه جامع و سیستماتیک برای تحلیل، گزارش‌دهی و سیاست‌گذاری محیط‌زیستی ارائه دهد. امروزه

2. Organisation for Economic Co-operation and Development

3. Pressures – State – Response

4. Pressures – State – Impact – Response

5. Driving forces – Pressures – State – Exposure – Action

6. Driving forces – Pressures – State – Exposure – Effect – Action

1. Driver – Pressures – State – Impact – Response

تهران، چارچوب مفهومی تحلیل منابع آبی را با رویکرد DPSIR تدوین کردند. در این مطالعه روابط علت و معلولی بین مؤلفه‌ها شناسایی و پاسخ‌های مدیریتی برای بهبود منابع آب شهری ارائه شد. Amin Fanaq و همکاران (۲۰۲۱) بحران حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را با مشارکت ۱۴ خبره و به کمک چارچوب DPSIR تحلیل کردند. نیروهای محرکه و فشارهای اصلی شناسایی و با وضعیت و اثرات مرتبط گردید و پاسخ‌های مدیریتی برای احیای پایدار حوزه آبخیز ارائه شد. در مطالعه‌ای از Anandhi و همکاران (۲۰۲۰)، چارچوبی مفهومی برای ارزیابی آسیب‌پذیری منابع طبیعی تحت عنوان DEVA¹ ارائه شد. این چارچوب ترکیبی از مدل DPSIR سازمان محیط‌زیست اروپا و مدل ESA² (در معرض بودن، حساسیت، ظرفیت سازگاری) است. نتایج نشان داد DEVA ابزاری انعطاف‌پذیر و کاربردی برای تحلیل آسیب‌پذیری سامانه‌های منابع طبیعی در مواجهه با تغییرات مدیریتی یا اقلیمی فراهم می‌آورد. در تحقیق Benzina و همکاران (۲۰۲۴)، چارچوب DPSIR برای تحلیل وضعیت، فشارها و اثرات محیطی تالاب در شمال شرقی الجزایر به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که این چارچوب با شناسایی عوامل کلیدی تهدید اکوسیستم، توانایی کمک به سیاست‌گذاران در حفاظت از تالاب‌ها را دارد. در تحقیق Gari و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از چارچوب DPSIR، فشارهای عمده بر کیفیت آب مانند فعالیت‌های کشاورزی، معدن‌کاری، تخریب جنگل و توسعه زیرساخت‌ها را شناسایی و به صورت مکان‌محور دسته‌بندی نمودند و در انتها از طریق این چارچوب، راهکارهایی برای مدیریت پایدار منابع آب ارائه شده است. در تحقیق Hou و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از چارچوب DPSIR، روابط متقابل بین عوامل اجتماعی-اقتصادی و وضعیت محیط‌زیست و

DPSIR به عنوان یکی از کاربردی‌ترین چارچوب‌ها در مطالعات محیط‌زیستی شناخته می‌شود، زیرا نه تنها روابط علی میان فعالیت‌های انسانی و تغییرات محیطی را مدنظر قرار می‌دهد، بلکه پاسخ‌های مدیریتی و سیاست‌های پایدار را نیز به‌طور یکپارچه در تحلیل‌ها می‌گنجاند و امکان تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر را فراهم می‌آورد (Hammond et al., 2018; Wang et al., 2018; Zare et al., 2019; Bruno et al., 2020; Mosaffaie et al., 2021; Swangjang et al., 2021).

مطالعات متعددی به کاربرد این چارچوب در مدیریت حوزه‌های آبخیز در داخل و خارج کشور پرداخته‌اند که در ادامه، تحقیقاتی به عنوان نمونه ارائه شده است. Salehpour Jam و Mosaffaie (۲۰۲۴) سلامت آبخیز کال‌آجی در استان گلستان را با استفاده از چارچوب DPSIR و روش ترکیبی مرور منابع، بازدید میدانی و مصاحبه با ۲۶ خبره و ذی‌نفع محلی مورد مطالعه قرار دادند. داده‌ها با پرسشنامه طیف لیکرت جمع‌آوری و پایایی با آلفای کرونباخ سنجیده شد. نتایج نشان داد که میزان همپوشانی دیدگاه کارشناسان و ساکنان برای مؤلفه فشار ۷۳ درصد، برای وضعیت و اثر ۶۰ درصد و برای پاسخ ۵۸ درصد بود. Fathi و همکاران (۲۰۲۵) حوزه آبخیز سد ایلام را به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی پاسخ‌های مدیریتی با رویکرد DPSIR بررسی کردند. عوامل DPSIR با مرور منابع، بازدید میدانی و نظرسنجی از ۲۰ کارشناس و ۲۰ آبخیزنشین شناسایی و با آزمون فریدمن رتبه‌بندی شد. نتایج بیانگر وجود ۵ نیروی محرکه، ۳۴ فشار، ۱۱ وضعیت نامطلوب و ۲۰ اثر بود که منجر به تدوین ۳۲ پاسخ مدیریتی شد. در تحقیقی دیگر، Salehpour Jam و همکاران (۲۰۲۱) در حوزه آبخیز چهل‌چای با استفاده از چارچوب DPSIR و نظرسنجی از ۳۰ خبره و ۲۶۰ ساکن، پاسخ‌های مدیریتی بهبود سلامت آبخیز را شناسایی کردند. در این تحقیق مهم‌ترین پاسخ‌های مدیریتی، شناسایی و اولویت‌بندی شدند.

Ebrahimi و همکاران (۲۰۲۴) در محله باغ‌فیض

1. DPSIR-ESA Vulnerability Assessment
2. Exposure-Sensitivity-Adaptive

ذی‌نفعان محلی را فراهم می‌آورد. این رویکرد، به ارزیابان و مدیران کمک می‌کند با دیدی نظام‌مند و فرآیندی، فشارها و پیشران‌های مؤثر بر وضعیت‌های گوناگون را شناسایی کرده و راهکارهای مناسب برای بهبود بوم‌سازگان و ارتقای کیفیت زندگی ساکنان ارائه دهند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گورسفید، یکی از سرشاخه‌های رودخانه حبله‌رود است که در محدوده شهرستان فیروزکوه، استان تهران قرار دارد. مساحت این حوزه که بین طول جغرافیایی $51^{\circ} 52'$ تا $53^{\circ} 08'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 35'$ تا $35^{\circ} 51'$ واقع شده، حدود 32500 هکتار است (شکل ۱). حوزه آبخیز گورسفید ماهیتی کوهستانی دارد و بلندترین نقطه آن 3328 متر و پست‌ترین نقطه آن 2150 متر از سطح دریا ارتفاع دارد. میانگین بارش سالانه منطقه حدود 300 میلی‌متر و متوسط دمای سالانه حدود 9 درجه سانتی‌گراد است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، اقلیم حوزه آبخیز گورسفید نیمه‌خشک سرد و بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک ارتفاعی است (Sheikh et al., 2018).

شرایط فیزیکی حوزه آبخیز گورسفید، ازجمله شیب‌های تند، سازندهای زمین‌شناسی با پتانسیل بالای فرسایش و نیز فعالیت‌های گسترده و غیر اصولی جوامع محلی در حوزه‌های کشاورزی، دامداری و صنعت، به شکل قابل‌توجهی رژیم جریان آب و الگوی رسوب‌گذاری را دچار تغییر کرده است. این تغییرات، پیامدهای متعددی مانند افزایش خطر سیلاب‌های ناگهانی، کاهش کمیت و کیفیت منابع آب، افزایش نرخ فرسایش خاک و هدررفت لایه‌های حاصلخیز و افزایش روند مهاجرت روستاییان و تضعیف پایداری جوامع محلی به همراه داشته‌اند با توجه به اهمیت این چالش‌ها و نقش مستقیم آن‌ها در کاهش امنیت آب و خاک منطقه، حوزه آبخیز گورسفید به‌عنوان

رفاه انسانی در استان جیانگ‌سو، چین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده شناسایی مؤثر روابط علل و معلول این عوامل با استفاده از چارچوب DPSIR است. در تحقیق Quevedo و همکاران (۲۰۲۳)، با استفاده از چارچوب DPSIR، فشارهای عمده مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی و تغییرات کاربری اراضی که بر اکوسیستم منطقه مانگرو در اندونزی تأثیر گذاشته است، شناسایی شدند. همچنین در این تحقیق پیشنهاداتی برای حفاظت و مدیریت پایدار این اکوسیستم‌ها ارائه شده است.

با وجود استفاده گسترده، این چارچوب محدودیت‌هایی دارد؛ زیرا فشارها و عوامل تغییر مرتبط با هر وضعیت، به‌صورت ترکیبی در نظر گرفته می‌شوند و نقش و سهم هر عامل به‌طور مستقل مشخص نیست. نتیجه آن است که معمولاً تنها امکان ارائه راهبردهای کلی وجود دارد. برای رفع این مشکل، چارچوب مرکب DPSIR^۱ توسعه یافت (Atkins et al., 2011). این نسخه توسعه‌یافته با ترکیب چندین چرخه مستقل DPSIR، امکان بررسی دقیق‌تر روابط کلیدی بین جامعه و محیط را فراهم می‌کند. در این روش، برای هر پیشران یک چرخه جداگانه در نظر گرفته می‌شود و با اتصال این چرخه‌ها، اثر متقابل فشارها، وضعیت‌ها و پاسخ‌ها آشکار می‌گردد (Scharin et al., 2016; Dolbeth et al., 2016; Smith et al., 2016). این چارچوب در ایران، به ویژه در حوزه آبخیز گورسفید استان تهران تاکنون به‌طور خاص بررسی نشده است. لذا هدف این تحقیق معرفی چارچوب مرکب DPSIR و استفاده از آن برای تحلیل روابط علت و معلولی مسائل مدیریت منابع آب و خاک در حوزه آبخیز مورد مطالعه است. این پژوهش به شفاف‌سازی روابط بین فشارهای انسانی و وضعیت‌های محیطی کمک کرده و امکان تدوین برنامه‌های مدیریتی دقیق‌تر و مشارکت فعال

مطالعه موردی انتخاب شد.

مراحل انتخاب زیرحوزه پایلوت

از آنجا که توسعه و پیاده‌سازی مدل مدیریت جامع مشارکتی برای کل حوزه آبخیز حبله‌رود به دلیل وسعت زیاد حوزه آبخیز و تنوع شرایط بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی بسیار پیچیده و دشوار است، تصمیم گرفته شد این مدل ابتدا برای یکی از زیرحوزه‌های حبله‌رود، به عنوان پایلوت ارائه شود. انتخاب زیرحوزه پایلوت در طی چندین مرحله و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف انجام شد.

ابتدا بر اساس بررسی‌های قبلی در مطالعات آمایش سرزمین حوزه آبخیز حبله‌رود (Mahini & Kamyab, 2017)، پنج زیرحوزه به عنوان گزینه‌های مناسب اولیه

انتخاب شدند. سپس برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های منتخب اولیه شاخص‌های مختلفی تدوین و در قالب یک جدول (جدول ۱) تنظیم گردید تا با نظر کارشناسان محلی امتیازدهی و اولویت‌بندی انجام شود. از زیرحوزه‌های منتخب اولیه بازدید میدانی به عمل آمد و پس از مشورت با کارشناسان و امتیازدهی شاخص‌ها توسط آنان، زیرحوزه گورسفید (شکل ۱) به عنوان پایلوت نهایی انتخاب شد. میانگین شاخص‌های موردنظر برای هر زیرحوزه به شرح زیر است:

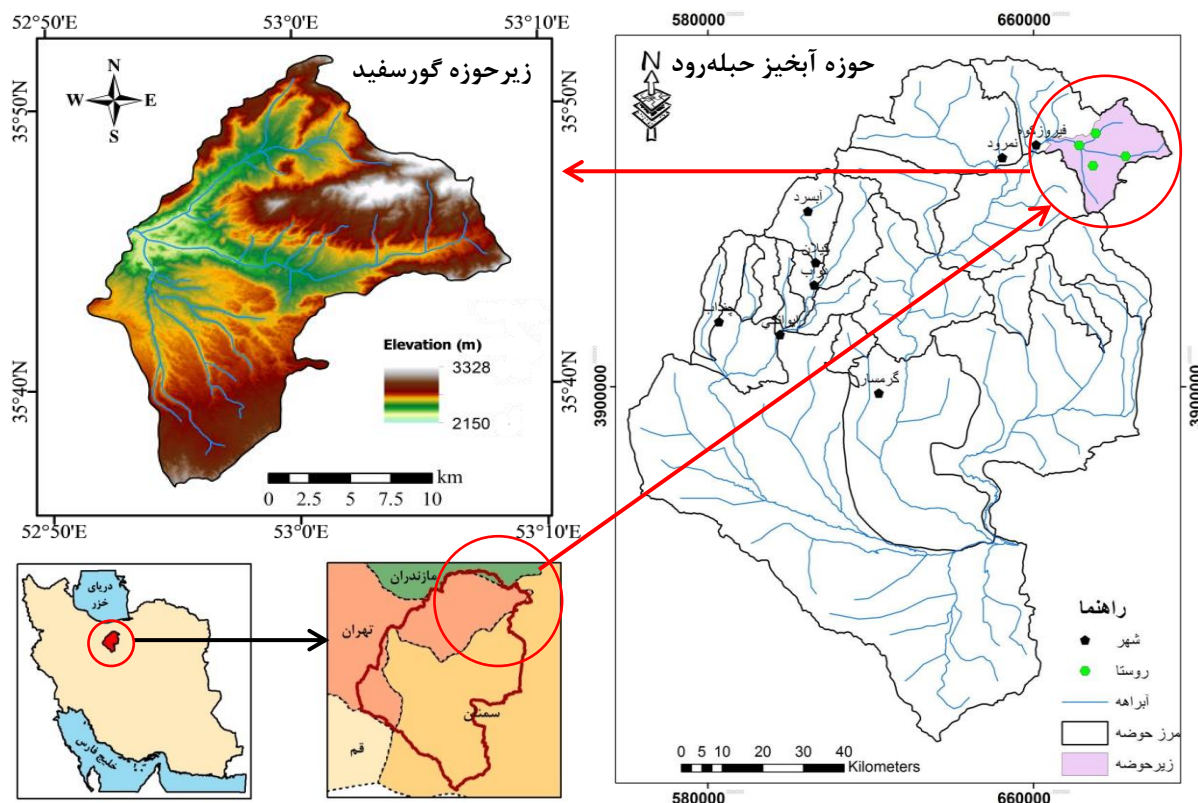
گورسفید: ۳/۴۷؛ شهرآباد: ۲/۵۷؛ درده، پیرده: ۲/۲۶؛ سرخه‌ده، مقانک: ۲/۱۵؛ شاه‌بلاغی، گویج: ۱/۸۹

جدول ۱- شاخص‌های مورد استفاده برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها با نظر کارشناسان محلی (امتیاز هر شاخص بر حسب درجه

اهمیت: ۱ تا ۵)

Table 1- Indicators used for prioritizing sub-watersheds based on local experts' Opinions (each indicator scored from 1 to 5 by importance level)

زیرحوزه/معیار	نمایندگی حوزه آبخیز حبله‌رود از نظر									
	تهدیدات طبیعی (سیل، فرسایش، خشکسالی و ...)	اجتماعی	اقتصادی	اکولوژیک	اقلیمی	توپوگرافی	عدم وجود پروژه‌های اجرایی قبلی	فراهمی داده و اطلاعات (ایستگاه باران‌سنجی، هیدرومتری و ...)	پیگیری‌های ساکنین آبخیز برای رفع معضلات طبیعی	وجود بستر نهادی / تشکیلات محلی (صندوق‌های محلی و یا ...)
شهرآباد	۲	۲	۴	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲
درده، پیرده	۱	۳	۲	۴	۲	۳	۲	۲	۲	۲
شاه‌بلاغی، گویج	۳	۲	۱	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۴
سرخه‌ده، مقانک	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۲
گورسفید	۴	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۳	۲	۴



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گورسفید در ایران

Figure 1- Location of Goorsefid watershed in Iran

اسنادی معتبر و نیز داده‌های حاصل از بازدیدهای میدانی صورت گرفت و ترسیم روابط مستقیم و غیرمستقیم بین متغیرها در قالب یک دیاگرام، به‌منظور نمایش ساختار و نحوه تعامل مؤلفه‌های مختلف حوزه آبخیز انجام پذیرفت. در ادامه برای ارتباط گرفتن و مشارکت مؤثر جوامع محلی در شناسایی مشکلات و اثرات آن‌ها، از دیاگرام تحلیل درخت مشکل استفاده شد. در ریشه‌های این درخت علل مسئله و در شاخه‌های آن، پیامدهای مسئله مشخص می‌شود (Khosravi et al., 2021).

در ادامه، داده‌های گردآوری شده از منابع علمی، بازدید میدانی و نظرسنجی‌های انجام شده از ذینفعان حوزه آبخیز مورد مطالعه، با استفاده از چارچوب مرکب DPSIR، تحلیل می‌شوند. این چارچوب از ترکیب چندین چرخه مجزای DPSIR تشکیل می‌شود (شکل ۲). به عبارت دیگر برای هر وضعیت در مکان‌های مختلف، یک چرخه منفرد DPSIR ایجاد می‌شود. یکپارچه‌سازی این تعاملات در مراحل بعدی،

در این تحقیق با هدف شناسایی مشکلات محیطی و انسان‌ساخت و همچنین بررسی روابط علت و معلولی میان جنبه‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی حوزه آبخیز گورسفید، از چارچوب مرکب DPSIR استفاده شده است. این مطالعه با تکیه بر نتایج تحلیل‌های علمی و دیدگاه‌های ذینفعان منطقه، مهم‌ترین چالش‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی را تحلیل می‌کند.

در گام نخست، برای شناسایی متغیرهای مؤثر فیزیکی، اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی و مدیریتی بر حوزه آبخیز گورسفید، یک مدل مفهومی از تعامل این متغیرها ترسیم شد (Sheikh et al., 2018). این فرآیند با مشارکت کارشناسان سازمانی و دانشگاهی و همچنین افراد کلیدی از جوامع محلی انجام شد. مراحل تهیه مدل مفهومی شامل دو بخش اصلی بود:

شناسایی متغیرها و عوامل مؤثر بر تخریب و مدیریت حوزه آبخیز، که از طریق بررسی منابع علمی و

$K =$ تعداد سؤال‌ها یا گویه‌های پرسشنامه، $S_i^2 =$ واریانس هر پرسش و $S^2 =$ واریانس کل پرسش‌ها است. در نهایت تقسیم‌بندی ضریب آلفای کرونباخ و پایایی پرسشنامه از طریق جدول ۲ بررسی شد. در این تحقیق از نرم‌افزار SPSS برای اندازه‌گیری آلفای کرونباخ استفاده شد و مقدار آن ۰/۸۸ (پایایی خوب پرسشنامه) به دست آمد.

جدول ۲- ضریب آلفای کرونباخ و پایایی پرسشنامه

Table 2- Cronbach's alpha coefficient and questionnaire reliability

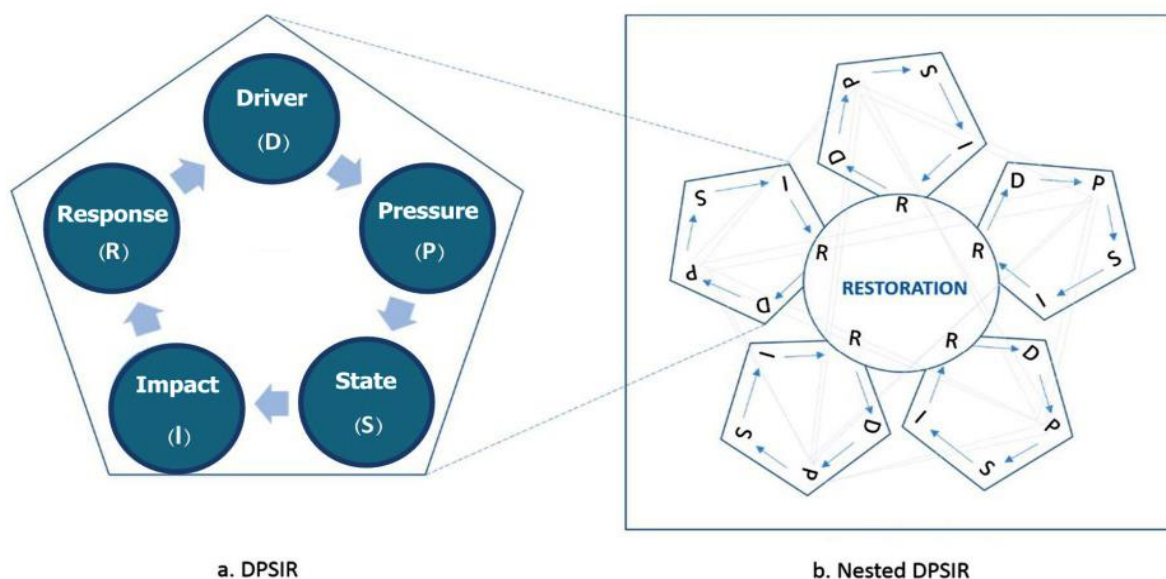
ضریب Cronbach's alpha	پایایی پرسشنامه
$a > 0.9$	عالی
$0.9 > a > 0.8$	خوب
$0.8 > a > 0.7$	قابل قبول
$0.7 > a > 0.6$	متوسط
$0.6 > a > 0.5$	ضعیف
$0.5 > a$	غیر قابل قبول

برای تعیین امتیاز و اهمیت مؤلفه‌های DPSIR، از طیف لیکرت با پنج گزینه پاسخ (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) استفاده شد (Dzoga et al., 2020). در نهایت اطلاعات کمی و کیفی مربوط به هر مؤلفه DPSIR جمع‌آوری، بررسی و تحلیل شد.

کاربران را قادر می‌سازد تا روابط را کشف کرده و اقدامات مدیریتی کاربردی را شناسایی کنند (Atkins et al., 2011). فرآیند منطقی اجرای این چارچوب از تبیین وضعیت محیطی و انسانی و روند تغییرات آن آغاز می‌شود، سپس عوامل مستقیم (فشارها) و غیرمستقیم (پیشران‌ها) که موجب بروز وضعیت شده‌اند، شناسایی و معرفی می‌گردند. در ادامه پاسخ‌ها (راهبردها و راهکارهای احتمالی) برای بهبود وضعیت نیز تعیین می‌شوند. در این خصوص نظرات ۶۰ نفر از افراد محلی و ۲۵ نفر از کارشناسان خبره از طریق پرسشنامه گردآوری شد.

روایی پرسشنامه‌ها توسط ۱۲ نفر از کارشناسان، متخصصان و اساتید دانشگاه بررسی و تأیید شد (Sheikh et al., 2018). برای هر پرسش، توضیحاتی ارائه شد تا پاسخ‌دهندگان برداشت یکسانی از سوال‌ها داشته باشند. برای سنجش پایایی و همابندی درونی پرسش‌ها، از فرمول Cronbach's alpha (رابطه ۱) استفاده شد (Agyemang et al., 2007):

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



شکل ۲- نمایش از چارچوب DPSIR (a) و رویکرد Nested DPSIR (b) (Atkins et al., 2011)
Figure 2- A schematic of the DPSIR framework (a) and the Nested DPSIR approach (b)

مراحل اجرای چارچوب مرکب DPSIR

(۱) ایجاد چرخه منفرد DPSIR: با توجه به تفاوت نسبی شرایط محیطی، مانند کیفیت آب، در مناطق مختلف، در این پژوهش برای هر وضعیت در بخش‌های گوناگون، یک چرخه مستقل از مؤلفه‌های DPSIR تدوین شد.

(۲) تهیه جدول DPSIR: در این مرحله، فهرست پیشران‌ها، فشارهای ناشی از آن‌ها، تغییرات وضعیت ناشی از بروز فشارها، اثرات بعدی و اقدامات اصلاحی ممکن در حوزه آبخیز مورد مطالعه مشخص می‌شود. به عنوان نوآوری، یک الگوی کدگذاری برای مؤلفه‌ها DPSIR طراحی شد تا از تکرار نوشتار جلوگیری شده و انسجام ساختاری حفظ و درک بصری روابط بین مؤلفه‌ها بهبود یابد.

(۴) طراحی نقشه مفهومی: بر اساس نتایج مرحله اول و دوم، نقشه‌های مفهومی DPSIR برای مناطق همگن از طریق نرم‌افزار Cmap تهیه شد تا نمایش بصری روابط و تعامل‌ها بین اجزای DPSIR، را فراهم آورد.

(۳) ساخت ماتریس تصمیم‌گیری: این ماتریس به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا تعامل‌ها میان اجزای چارچوب DPSIR را به‌طور شفاف مشاهده کنند.

(۵) اولویت‌بندی فشارها: پس از تحلیل تعامل‌ها، عوامل فشار بر اساس رتبه کارشناسی و فراوانی آن‌ها در وضعیت‌های مختلف اولویت‌بندی شدند. این اولویت‌بندی به معنای کم‌اهمیت بودن فشارها با رتبه پایین نیست و تنها بر اساس نیازهای فعلی جوامع محلی و وضعیت‌های کنونی تعیین شده است. با تغییر نیازها و وضعیت‌ها در آینده، اولویت‌ها نیز ممکن است تغییر کنند.

(۶) امتیازدهی به راهکارها بر اساس اهمیت و امتیاز فشارها: پس از رتبه‌بندی عوامل فشار، امتیاز هر عامل در ماتریس فشار-راهکار ثبت می‌شود. با توجه به اینکه هر راهکار ممکن است بر چند عامل فشار اثر بگذارد، جمع امتیازات عوامل مرتبط با هر

راهکار محاسبه و بر اساس آن، راهکارها رتبه‌بندی شدند.

(۷) ارزیابی راهکارها بر اساس معیارهای سلامت و پایداری آبخیز: معیارها شامل ابعاد فیزیکی، بوم‌شناختی، اقتصادی، سیاسی، مدیریتی و اجتماعی-فرهنگی هستند. با استفاده از نظر کارشناسان، میزان کاربرد مستقیم هر راهکار در این معیارها مشخص و رتبه اثر آن تعیین شد.

(۸) اولویت‌بندی راهکارها: بر اساس معیارهای سلامت و پایداری آبخیز گورسفید، راهکارهایی با امتیاز بالا و رتبه اثر نزدیک به یک در اولویت اجرایی قرار گرفتند.

نتایج

ترسیم مدل مفهومی تعاملات متغیرهای پایداری و سلامت حوزه آبخیز گورسفید

در شکل ۳، مدل مفهومی تعامل بین متغیرهای مؤثر فیزیکی، اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی و مدیریتی بر حوزه آبخیز گورسفید ارائه شده است. این مدل به کارگروه امکان داد تا در فرآیند تحلیل، تمامی ابعاد مطرح شده را به صورت یکپارچه مدنظر قرار دهند.

تحلیل درخت مشکلات

همانطور که در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است با توجه به نظرات جوامع محلی روستای گورسفید و نتایج منابع علمی و اسنادی معتبر و نیز داده‌های حاصل از بازدیدهای میدانی، درخت مشکلات به عنوان نمونه برای دو کانون مشکل شامل تخریب وضعیت منابع آب (سطحی و زیرزمینی) و تخریب منابع سرزمین تهیه گردید. درخت‌های مشکل مربوط به سایر روستا در منبع (Sheikh et al., 2018) ارائه شده است.

نتایج چارچوب مرکب DPSIR

در شکل ۶ نمونه‌ای از چرخه منفرد DPSIR برای

بر اساس نتایج فوق برای مناطق همگن، نقشه‌های مفهومی DPSIR تهیه شد. در شکل ۷ به عنوان نمونه، نقشه مفهومی مؤلفه‌های DPSIR برای محدوده روستای گورسفید ارائه شده است. برای دسترسی به سایر نقشه‌های مفهومی به منبع (Sheikh *et al.*, 2018) رجوع شود.

بر اساس جدول (۳) در حوزه آبخیز مورد مطالعه، پنج پیشران اصلی شناسایی شد که ۱۸ فشار مهم ایجاد کرده‌اند. این فشارها باعث تغییر ۱۷ وضعیت شده و این تغییرات نیز روی ۲۳ جنبه اثر گذاشته‌اند. در نهایت، برای کاهش فشار و بهبود وضعیت، ۲۷ راهبرد/راهکار پیشنهاد شده است (جدول ۲). بیشران‌ها

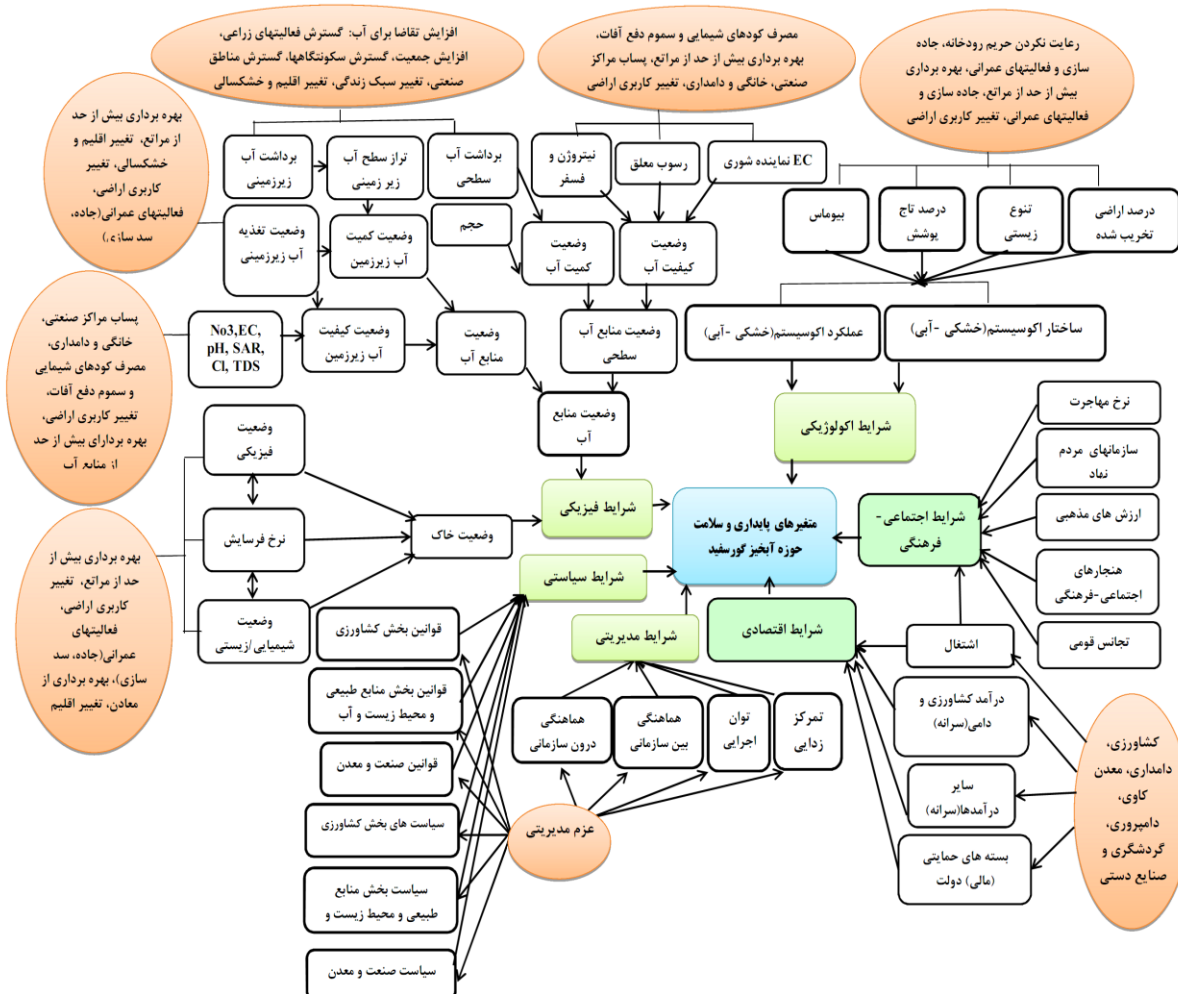
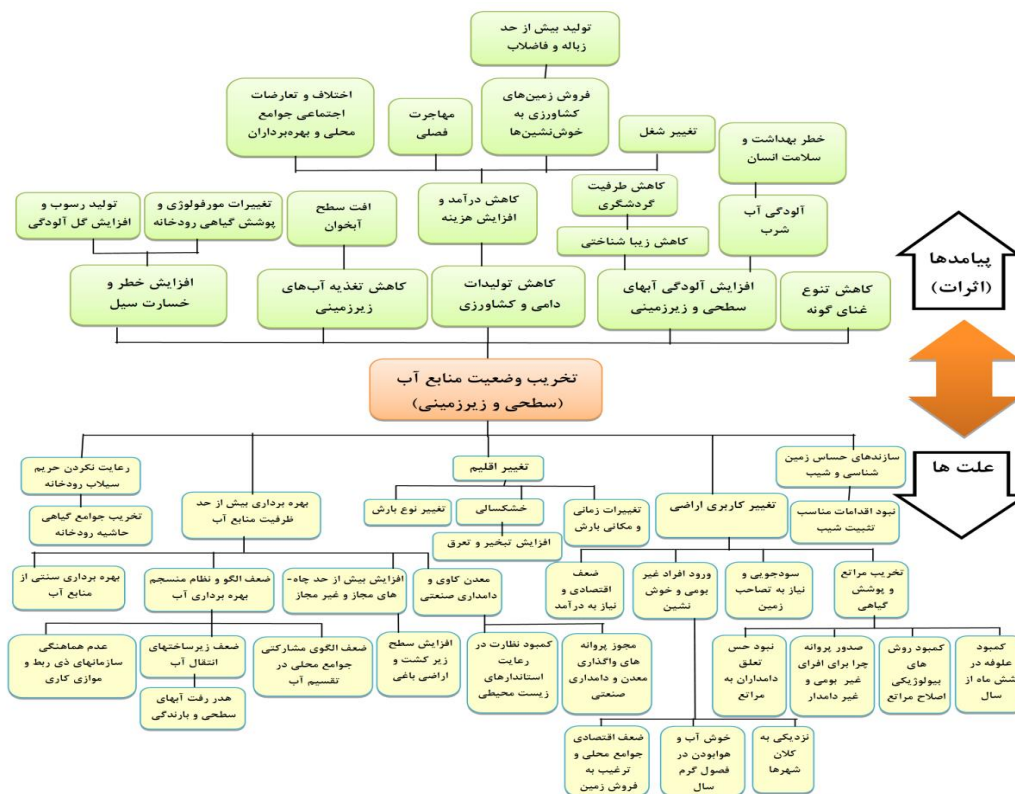
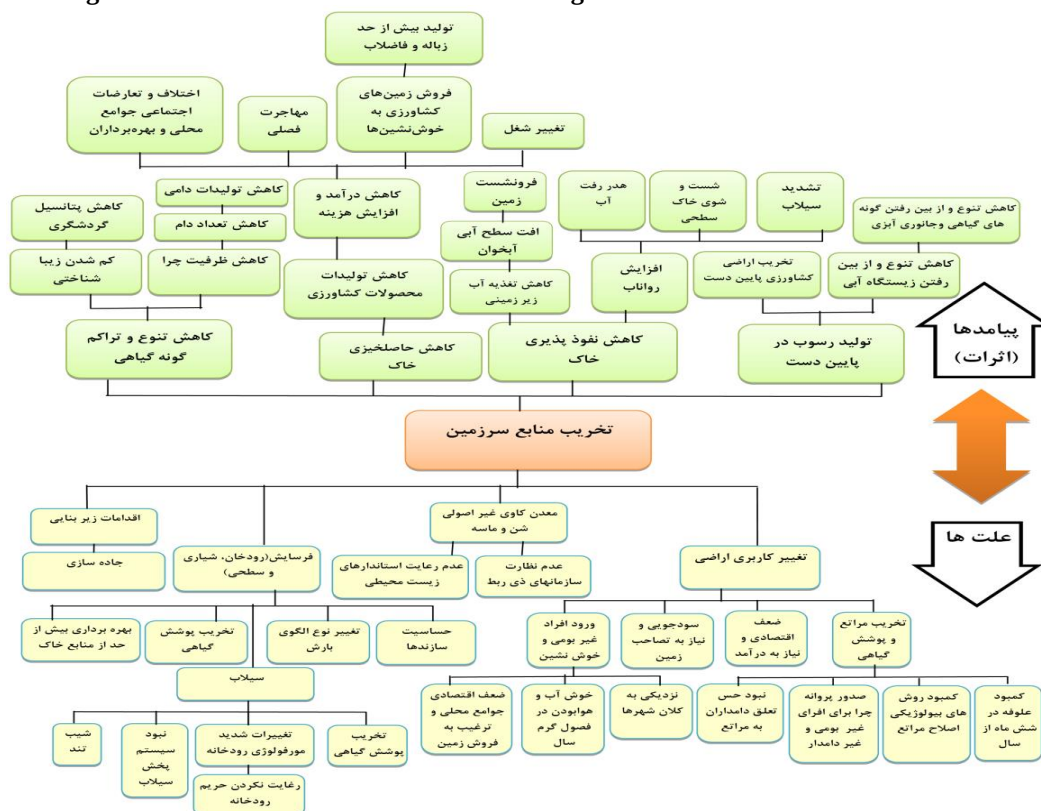


Figure 3- Conceptual model of the interactions between sustainability variables and watershed health in the Gorsefid watershed



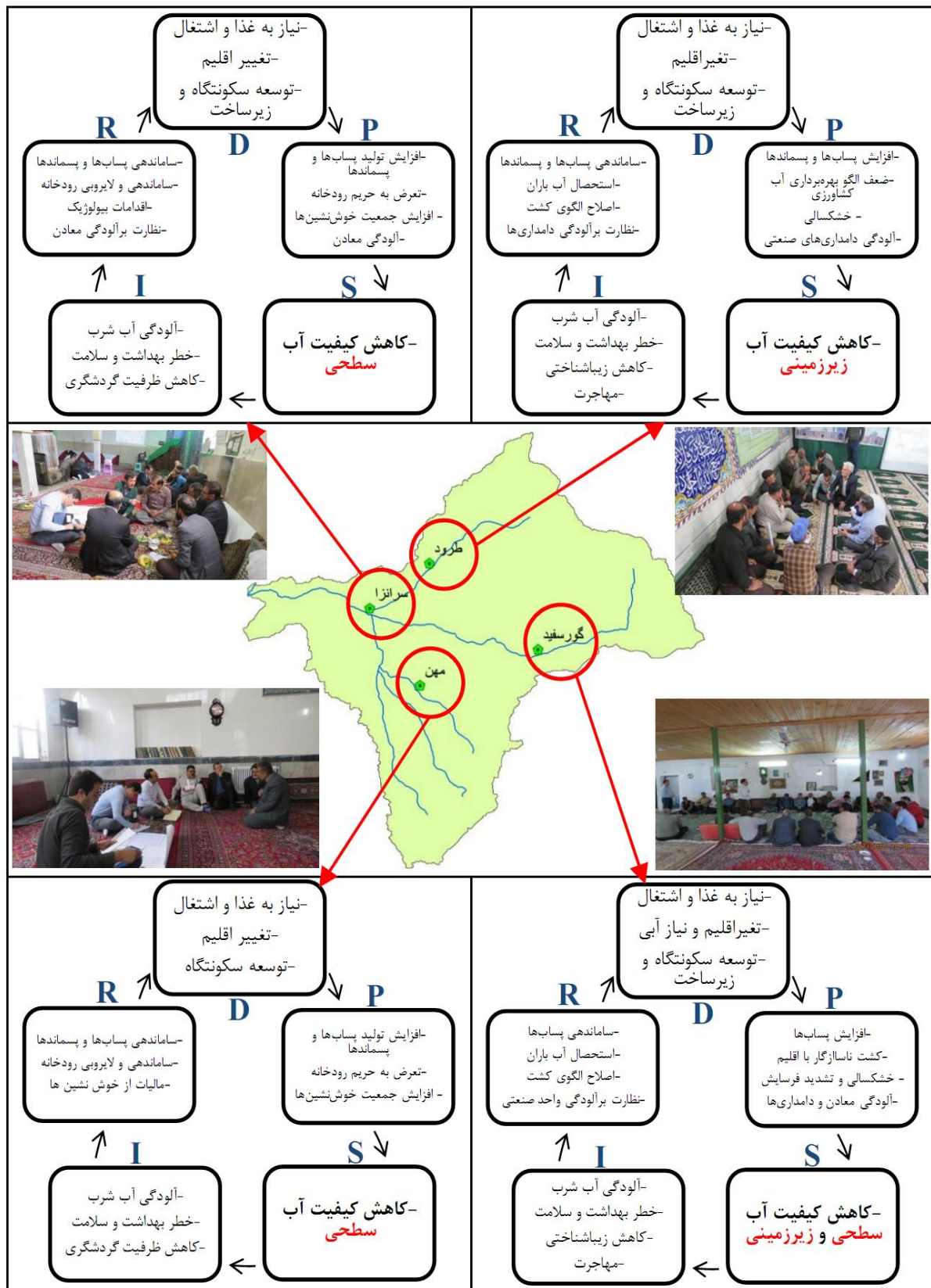
شکل ۴- درخت مشکلات تخریب منابع آب در حوزه آبخیز گورسفید

Figure 4- Problem tree of water resources degradation in the Goorsefid Watershed



شکل ۵- درخت مشکلات تخریب سرزمین در حوزه آبخیز گورسفید

Figure 5- Problem tree of land degradation in the Goorsefid Watershed



شکل ۶- نمونه‌ای از چرخه منفرد DPSIR برای وضعیت کاهش کیفیت آب به تفکیک چهار روستا در حوزه آبخیز گورسفید
Figure 6- An example of a single DPSIR cycle for the status of water quality degradation, categorized by four villages in the Goursafid watershed

جدول ۳- فهرستی از مؤلفه‌های DPSIR برای حوزه آبخیز گورسفید
Table 3- List of DPSIR components for the Goorsefid watershed

پیشران	فشار	وضعیت	اثرات	راهکارها
D1- نیاز به اشتغال و غذا (کشاورزی و دامداری)	P1- ضعف الگو و نظام منسجم بهره‌برداری آب در بخش کشاورزی و دامداری			R1- اقدامات زیست مهندسی حفاظت خاک و آب
	P2- بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آب			R2- استحصال باران و ذخیره رواناب
	P3- افزایش اتلاف محصولات کشاورزی			R3- تدوین برنامه جامع تعیین حق‌آبه
	P4- واگذاری مراتع میان‌بند در قالب طرح‌های بدون کارشناسی،			R4- کاهش درآمد و افزایش اصلاح زیستی مراتع
	P5- چرای دام در فصل نامناسب			R5- ساماندهی و لایروبی رودخانه
	P6- صدور پروانه چرا برای افراد غیربومی و غیر دامدار			R6- تشکیل تعاونی تنظیم عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی و دامی
	P7- افزایش وابستگی جوامع محلی به بهره‌برداری سنتی			R7- اصلاح الگوی آبیاری
	P8- تجاوز به حریم رودخانه			R8- آموزش معیشت جایگزین
	P9- افزایش نیاز آبی ناشی از تغییر الگوی کشت			R9- تدوین دستورالعمل محوری بین سازمانی و بین‌رشته‌ای مدیریت منابع طبیعی
	P2- بهره‌برداری بیش‌ازحد ظرفیت منابع آب			R10- بازنگری در صدور پروانه چرای مرتع
D2- نیاز آبی	P10- تشدید فشار بر منابع آب در نتیجه خشکسالی			R11- تأمین علوفه برای فصول سرد سال
	P11- تغییر نوع بارش از برف به باران و تغییرات زمانی بارش			R12- اصلاح الگوی کشت اراضی زراعی آبی
	P12- افزایش بهره‌برداری بی‌برنامه از منابع آب و زمین			R13- کاهش پوشش گیاهی حاشیه رودخانه
	P13- افزایش جمعیت خوش‌نشین‌ها			R14- بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و دانش بومی برای مدیریت انتقال آب
	P14- تصرف و تغییر کاربری اراضی			R15- راهکارهای کاهش تبخیر و تعرق
	P15- افزایش تولید پساب‌ها و پسماندها و عدم مدیریت آن			R16- طرح پخش سیلاب
	P16- خاکبرداری و خاکریزی و دستکاری سطح زمین			R17- اصلاح نظام بهره‌برداری آب کشاورزی
	P17- توسعه مراکز صنعتی پرورش طیور			R18- طرح تدوین برنامه تخصیص آب چند
	P18- افزایش معادن سنگ، شن و ماسه			R19- مدیریت ریسک و پیشگیری از وقایع طبیعی/ بیمه حوادث طبیعی
				R20- کشت گونه‌های درختی منطبق با
D3- تغییر اقلیم	P13- افزایش جمعیت خوش‌نشین‌ها			R21- آمایش هیدرومورفولوژیکی توسعه
	P14- تصرف و تغییر کاربری اراضی			R22- ساماندهی پساب‌ها و پسماندها
	P15- افزایش تولید پساب‌ها و پسماندها و عدم مدیریت آن			R23- انرژی‌های نو و سوخت جایگزین
	P16- خاکبرداری و خاکریزی و دستکاری سطح زمین			R24- اخذ مالیات از مالکان غیرمقیم روستاها
	P17- توسعه مراکز صنعتی پرورش طیور			R25- تخصیص آن برای رفع مشکلات روستا
	P18- افزایش معادن سنگ، شن و ماسه			R26- نظارت و ارائه قوانین کنترل آلودگی معادن و دامداری‌های صنعتی
				R27- پالایش پروانه‌های واگذاری معادن و دامداری صنعتی
D4- سکونتگاه‌های انسانی، زیرساخت‌ها و گردشگری	P13- افزایش جمعیت خوش‌نشین‌ها			R21- آمایش هیدرومورفولوژیکی توسعه
	P14- تصرف و تغییر کاربری اراضی			R22- ساماندهی پساب‌ها و پسماندها
	P15- افزایش تولید پساب‌ها و پسماندها و عدم مدیریت آن			R23- انرژی‌های نو و سوخت جایگزین
	P16- خاکبرداری و خاکریزی و دستکاری سطح زمین			R24- اخذ مالیات از مالکان غیرمقیم روستاها
	P17- توسعه مراکز صنعتی پرورش طیور			R25- تخصیص آن برای رفع مشکلات روستا
	P18- افزایش معادن سنگ، شن و ماسه			R26- نظارت و ارائه قوانین کنترل آلودگی معادن و دامداری‌های صنعتی
				R27- پالایش پروانه‌های واگذاری معادن و دامداری صنعتی
D5- معدن کای و صنعت	P17- توسعه مراکز صنعتی پرورش طیور			R21- آمایش هیدرومورفولوژیکی توسعه
	P18- افزایش معادن سنگ، شن و ماسه			R22- ساماندهی پساب‌ها و پسماندها
				R23- انرژی‌های نو و سوخت جایگزین
				R24- اخذ مالیات از مالکان غیرمقیم روستاها
				R25- تخصیص آن برای رفع مشکلات روستا
				R26- نظارت و ارائه قوانین کنترل آلودگی معادن و دامداری‌های صنعتی
				R27- پالایش پروانه‌های واگذاری معادن و دامداری صنعتی



تغییر داده و هر وضعیت تحت تأثیر چه فشارهایی بوده است. ماتریس دوم نشان می‌دهد که هر وضعیت چه اثراتی ایجاد کرده و هر اثر ناشی از چه وضعیتهایی بوده است. در ماتریس سوم مشخص شده که هر راهکار کدام فشارها را کاهش یا اصلاح کرده و هر فشار از طریق چند راهکار کنترل می‌شود.

در مرحله بعد، برای مشاهده تعاملات و اثرات متقابل بین مؤلفه‌های DPSIR، نتایج مرحله اول در قالب ماتریس‌های تصمیم ارائه شد. در این خصوص سه ماتریس بین ۱- عوامل فشار و وضعیت (جدول ۴)؛ ۲- وضعیت و اثرات (جدول ۵) و ۳- راهکارها/راهبردها و فشارها (جدول ۶) تشکیل شد. از ماتریس اول، مشخص شده که هر فشار چه وضعیت‌هایی را

جدول ۴- ماتریس تعامل بین وضعیت و عامل فشار برای حوزه آبخیز گورسفید

Table 4- Matrix of interaction between state and pressure factor for GoorSefid watershed

[illegible]

جدول ۵- ماتریس تعامل بین وضعیت و اثرات (اثرات ناشی از وضعیت موجود) برای حوزه آبخیز گورسفید

Table 5- Matrix of interaction between state and impacts for Goorsefid watershed

[illegible]

جدول ۶- ماتریس تصمیم تعامل بین فشارها و پاسخ‌ها برای حوزه آبخیز گورسفید

Table 6- Decision matrix of interactions between pressures and responses for the Goorسفید watershed

P18	P17	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	فشار / راهکار
																		راهکار
																		R1
																		R2
																		R3
																		R4
																		R5
																		R6
																		R7
																		R8
																		R9
																		R10
																		R11
																		R12
																		R13
																		R14
																		R15
																		R16
																		R17
																		R18
																		R19
																		R20
																		R21
																		R22
																		R23
																		R24
																		R25
																		R26
																		R27

ساده‌تر می‌شود. این کار باعث می‌شود اثر مقادیر بسیار بالا تعدیل شود و در عین حال، محدوده‌های با فشار متوسط نیز به خوبی دیده و بررسی شوند. شایان ذکر است اولویت‌بندی فشارها به این معنا نیست که فشارهای قرار گرفته در رتبه‌های پایین، اهمیت کمی دارند. در این پژوهش، اولویت‌بندی صرفاً بر اساس نیازهای اساسی جوامع محلی و وضعیت‌ها در شرایط موجود تعیین شده است. از آنجا که فرآیندها در یک حوزه آبخیز پویا هستند، ممکن است در سال‌های آینده، با تغییر نیازها، وضعیت و سیاست‌گذاری‌ها، اولویت‌بندی فشارها نیز تغییر کند. همان‌طور که در

در مرحله بعد، همان‌طور که در جدول ۷ آمده است، فشارهای موجود در محدوده مورد مطالعه، از نظر اهمیت و فراوانی در وضعیت‌های مختلف، رتبه‌بندی و اولویت‌بندی شدند. در این جدول با شناسایی و اولویت‌بندی عوامل فشار و بررسی فراوانی آن‌ها در وضعیت‌های مختلف، امکان انتخاب و اولویت‌بندی راهکارها فراهم می‌شود. در جدول ۷ از لگاریتم استفاده شده تا دامنه‌ی گسترده‌ی مقادیر فشرده و متعادل شوند و امکان مقایسه‌ی بهتر بین مقادیر فشارها فراهم گردد. با لگاریتم گرفتن، توزیع داده‌ها به شکل خطی‌تر در می‌آید و انجام تحلیل‌های آماری

صدور پروانه چرا برای افراد غیربومی و غیر دامدار است. با توجه به اینکه هر راهکار ممکن است با یک یا چند عامل فشار مرتبط باشد، در جدول ۸ «ماتریس فشار-راهکار» برای حوزه آبخیز گورسفید ارائه شده است. در این جدول، امتیاز هر عامل فشار و ارتباط آن با راهکارها مشخص شده و همچنین راهکارها بر اساس میزان اهمیت و تعداد عوامل فشار مرتبط، امتیازدهی و رتبه‌بندی شده‌اند.

جدول ۷ نشان داده شده، به عنوان نمونه پنج عامل فشار که بر اساس نظرات جوامع محلی و کارشناسان و همچنین میزان فراوانی فشار در وضعیت‌های مختلف، در اولویت اول قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از: ۱- تصرف و تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی، ۲- ضعف الگو و نظام منسجم بهره‌برداری از آب در کشاورزی و دامداری، ۳- بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آب (سطحی و زیرزمینی)، ۴- خشکسالی و ۵-

جدول ۷- اولویت‌بندی فشارها بر اساس رتبه و امتیاز کارشناسی و فراوانی آن‌ها در وضعیت‌های مختلف

Table 7. Prioritization of pressures based on rank and expert score and their frequency in different states

فشار	رتبه فشار	امتیاز فشار	فراوانی فشار در وضعیت	امتیاز نهایی فشار (Log)
P1	2	17	9	2.18
P2	3	16	10	2.20
P3	9	10	1	1.00
P4	8	11	5	1.74
P5	17	2	6	1.08
P6	5	14	5	1.85
P7	13	6	1	0.78
P8	6	13	7	1.96
P9	11	8	4	1.51
P10	4	15	9	2.13
P11	10	9	10	1.95
P12	7	12	1	1.08
P13	18	1	6	0.78
P14	1	18	12	2.33
P15	12	7	4	1.45
P16	15	4	5	1.30
P17	16	3	4	1.08
P18	14	5	3	1.18
اولویت فشار				
P14> P1>P2> P10>P6>P8>P12>P4>P3>P11>P9>P15>P7>P18>P16>P17>P5>P13				

جدول ۸- ماتریس تصمیم تعیین امتیازات هر راهکار اصلی بر حسب اهمیت فشارها

Table 8- The decision matrix for the points of responses according to the importance of pressures

مجموع امتیاز راهکار از فشارها	فشار																		امتیاز فشارها
	P18	P17	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	
	1.18	1.08	1.3	1.45	2.33	0.78	1.08	1.95	2.13	1.51	1.96	0.78	1.85	1.08	1.74	1.0	2.2	2.18	
9.01			1.3		2.33				2.13	1.51					1.74				R1
7.79								1.95	2.13	1.51							2.2		R2
6.51									2.13								2.2	2.18	R3
9.38	1.18		1.3					1.95	2.13				1.08	1.74					R4
5.42								1.95		1.51	1.96								R5
1																1.0			R6
8.02									2.13	1.51							2.2	2.18	R7
6.07									2.13						1.74		2.2		R8
2.08							1.08									1.0			R9
5.04				1.45									1.85		1.74				R10
2.16							1.08						1.08						R11
8.46								1.95	2.13								2.2	2.18	R12
4.07					2.33										1.74				R13
11.42				1.45				1.95	2.13	1.51							2.2	2.18	R14
5.38			1.3					1.95	2.13										R15
7.78								1.95	2.13		1.96				1.74				R16
11.42				1.45				1.95	2.13	1.51							2.2	2.18	R17
6.51									2.13								2.2	2.18	R18
7.12							1.08	1.95	2.13		1.96								R19
4.08								1.95	2.13										R20
5.67	1.18	1.08		1.45							1.96								R21
3.71	1.18	1.08		1.45															R22
1.08							1.08												R23
3.04	1.18	1.08				0.78													R24
4.19				1.45							1.96	0.78							R25
2.26	1.18	1.08																	R26
4.11	1.18	1.08											1.85						R27

در مرحله بعد، رتبه و میزان فراوانی اثر یا کاربرد مستقیم راهکارها بر اساس معیارهای تعیین وضعیت سلامت و پایداری حوزه آبخیز گورسفید تعیین شد (جدول ۹). بر اساس نتایج این پژوهش، معیارهای مهم تعیین وضعیت سلامت و پایداری حوزه آبخیز شامل ۱- معیارهای فیزیکی، ۲-بوم‌شناختی، ۳- اقتصادی، ۴-سیاسی، ۵- مدیریتی و ۶-اجتماعی- فرهنگی است. بنابراین تمامی راهکارها با توجه به اثر مستقیم آن‌ها بر هر یک از معیارهای فوق، رتبه‌بندی و دسته‌بندی شدند. برای این منظور، با بهره‌گیری از نظر کارشناسان، کاربرد مستقیم هر راهکار با شش گروه معیارها تطبیق داده شد و سپس رتبه اثر مستقیم آن مشخص شد. به‌عنوان نمونه، بر اساس

جدول ۹ و برای معیار «وضعیت سیاسی»، از میان همه راهکارها، ۹ راهکار مرتبط شناسایی شد که از این تعداد، شش راهکار در اولویت اول، یک راهکار در اولویت دوم و دو راهکار در اولویت سوم قرار دارند. راهکارهای اولویت اول در ارتباط با معیار «وضعیت سیاسی» عبارتند از: ۱- اصلاح نظام بهره‌برداری آب کشاورزی؛ ۲- بازنگری در صدور پروانه چرای مرتع؛ ۳- مدیریت ریسک و پیشگیری از وقایع طبیعی/ بیمه حوادث طبیعی؛ ۴- نظارت و تدوین قوانین کنترل آلودگی معادن و دامداری‌های صنعتی و ۵- پالایش پروانه‌های واگذاری معدن و دامداری صنعتی و ۶- تدوین برنامه جامع تعیین حق‌آبه است.

جدول ۹- رتبه و فراوانی اثرات راهکارها در معیارهای تعیین وضعیت سلامت و پایداری حوزه آبخیز گورسفید

Table 9- Rank and frequency of the effects of the solutions in the criteria for determining the health and sustainability status of Goorsefid watershed

مجموع امتیاز راهکارها از فشارها	فراوانی کاربرد راهکار در معیارهای وضعیت	معیارهای وضعیت سلامت و پایداری						راهکار
		بوم‌شناختی	اجتماعی فرهنگی	اقتصادی	مدیریتی	سیاسی	فیزیکی	
9.01	2	2					1	R1
7.79	3	2		3			1	R2
6.51	3	3			2	1		R3
9.38	4	1	4	3			2	R4
5.42	2	1					2	R5
1	3		2	1	3			R6
8.02	2			2			1	R7
6.07	2		2	1				R8
2.08	2				1	2		R9
5.04	5	2	4	5		1	3	R10
2.16	3		2	1		3		R11
8.46	3			2		3	1	R12
4.07	3	2			3		1	R13
11.42	3	2			3		1	R14
5.38	1						1	R15
7.78	3	2		3			1	R16
11.42	2					1	2	R17
6.51	4	3		4	2		1	R18
7.12	1					1		R19
4.08	3	3		2			1	R20
5.67	2	1					2	R21
3.71	3	۳			2		1	R22
1.08	3		2	1	3			R23
3.04	2		2	1				R24
4.19	2		1	2				R25
2.26	2				2	1		R26
4.11	2				2	1		R27
		13	8	14	10	9	16	مجموع کاربرد راهکارها در معیارهای تعیین وضعیت
		3	1	5	1	6	11	فراوانی راهکارها با اولویت اول
		6	5	4	5	1	4	فراوانی راهکارها با اولویت دوم
		4	-	3	4	2	1	فراوانی راهکارها با اولویت سوم

R26 دارای رتبه اثر یک و به ترتیب اولویت‌های یک تا شش را دارند. برای معیار مدیریتی، تنها راهکار با کد R9، دارای رتبه اثر یک است و راهکارها R3، R18، R27، R22 و R26 در رتبه اثر دو قرار دارند. برای بهبود وضعیت‌های مربوط به معیار اقتصادی، راهکارهای R8، R24، R11، R23 و R6 دارای رتبه اثر یک و به ترتیب اولویت‌های یک تا پنج را دارند. برای معیار اجتماعی و فرهنگی، تنها راهکار با کد R25، دارای رتبه اثر یک است و راهکارهای R8، R24، R11، R23 و R6 در اولویت‌های بعدی قرار دارند. برای معیار بوم‌شناختی، راهکارهای R4، R21 و R5 دارای رتبه اثر یک و به ترتیب اولویت یک تا سه می‌باشند.

در مرحله آخر، راهکارها بر اساس جمع رتبه اثر مستقیم و امتیاز اختصاص یافته به هر راهکار (با توجه به معیارهای وضعیت سلامت حوزه آبخیز)، اولویت‌بندی و طبقه‌بندی شدند (جدول ۱۰). با توجه به نتایج، برای هر معیار فوق‌الذکر، راهکارها با امتیاز بالا و رتبه اثر نزدیک به یک در اولویت قرار گرفتند. همان‌طور که در جدول ۱۰ نشان آمده است برای بهبود وضعیت‌های مربوط به معیار فیزیکی، راهکارهای R14، R1، R12، R7، R2، R16، R18، R15، R20، R13 و R22 دارای رتبه اثر یک بوده و به ترتیب اولویت‌های یک تا ۱۱ را دارند. برای معیار سیاسی، راهکارهای R17، R19، R3، R10، R27 و

جدول ۱۰- اولویت‌بندی و طبقه‌بندی راهکارها در معیارهای تعیین وضعیت سلامت حوزه آبخیز بر حسب رتبه اثر مستقیم و امتیاز هر راهکار

Table 10- Prioritization and classification of responses in the criteria for determining the health status of the watershed according to the rank of the direct effect and the score of each response

رتبه اثر ۱			رتبه اثر ۲			رتبه اثر ۳			رتبه اثر ۴			رتبه اثر ۵			وضعیت	رتبه اثر راهکارها
راهکار	اولویت	امتیاز	راهکار	اولویت	امتیاز	راهکار	اولویت	امتیاز	راهکار	اولویت	امتیاز	راهکار	اولویت	امتیاز		
R14	1	11.42	R17	1	11.42	R10	1	5.04							فیزیکی (F) Physical	
R1	2	9.01	R4	2	9.38											
R12	3	8.46	R21	3	5.67											
R7	4	8.02	R5	4	5.42											
R2	5	7.79														
R16	6	7.78														
R18	7	6.51														
R15	8	5.38														
R20	9	4.08														
R13	10	4.07														
R22	11	3.71														
R17	1	11.42	R9	1	2.08	R12	1	8.46							سیاسی (E) Political	
R19	2	7.12				R11	2	2.16								
R3	3	6.51														
R10	4	5.04														
R27	5	4.11														
R26	6	2.26														
R9	1	2.08	R3	1	6.51	R14	1	11.42							مدیریتی (D) Managerial	
			R18	2	6.51	R13	2	4.07								
			R27	3	4.11	R23	3	1.08								
			R22	4	3.71	R6	4	1.0								
			R26	5	2.26											
R8	1	6.07	R12	1	8.46	R4	1	9.38	R18	1	6.51	R10	1	5.04	اقتصادی (C) Economic	
R24	2	3.04	R7	2	8.02	R2	2	7.79								
R11	3	2.16	R25	3	4.19	R16	3	7.78								
R23	4	1.08	R20	4	4.08											
R6	5	1.0														
R25	1	3.04	R8	1	6.07				R4	1	9.38				اجتماعی فرهنگی (B) Social and cultural	
			R24	2	3.04				R10	2	5.04					
			R11	3	2.16											
			R23	4	1.08											
			R6	5	1.0											
R4	1	9.38	R14	1	11.42	R3	1	6.51							بوم‌شناختی (A) Ecological	
R21	2	5.67	R1	2	9.01	R18	2	6.51								
R5	3	5.42	R2	3	7.79	R20	3	4.08								
			R16	4	7.78	R22	4	3.71								
			R10	5	5.04											
			R13	6	4.07											

بحث

به‌کارگیری چارچوب مرکب DPSIR در حوزه آبخیز گورسفید، علاوه بر امکان تفکیک ابعاد مختلف مسائل، مطابق با یافته‌های پژوهش‌های پیشین (Atkins, et al, 2011; Scharin et al., 2016) زمینه ایجاد درک مشترک میان ذی‌نفعان و تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری را فراهم کرد. این همگرایی، موجب شناسایی دقیق‌تر

وضعیت محیطی و نیازهای جوامع محلی شد و در نتیجه، طراحی راهکارهایی قابل‌پذیرش‌تر را ممکن ساخت. استفاده هم‌زمان از چرخه‌های منفرد و ماتریس اثرات متقابل، مشابه مطالعات (Atkins, 2011; Dolbeth et al., 2016)، توانست روابط علت و معلولی میان مؤلفه‌های DPSIR را کمی‌سازی کرده و مبنایی برای

اولویت‌بندی راهکارها ایجاد کند. نتایج نشان داد ارائه ۱۱ راهکار عملی برای بهبود وضعیت فیزیکی بوم‌سازگان، بیانگر ضرورت انجام اصلاحات فوری در این بخش است؛ این موضوع می‌تواند به‌عنوان محور تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرد.

تحلیل ارتباط میان فشارهای انسانی و تغییرات محیطی نیز نشان داد که درک این روابط، هم در ارزیابی تحلیلی و هم در طراحی راهکارهای بهبود وضعیت، اهمیت بالایی دارد. اولویت‌بندی اقدامات بر اساس مؤلفه‌های DPSIR، به شناسایی دقیق‌تر نیازهای مدیریتی و نقاط قوت و ضعف سامانه کمک کرده است. با این حال، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد؛ ازجمله پیچیدگی در بازنمایی و تحلیل داده‌ها که می‌تواند به برداشت‌های متفاوت منجر شود، و همچنین بررسی جزئی‌تر این چارچوب نیازمند منابع مالی و زمانی قابل توجه است. علاوه بر این، چالش‌های اجرایی مانند ضعف هماهنگی میان نهادها و کمبود پشتیبانی مالی، ممکن است مانع اجرای موفق راهکارها شود.

با توجه به تجربیات این پژوهش و نتایج مطالعات پیشین (Atkins et al, 2011; Scharin et al., 2016; Dolbeth et al., 2016; Smith et al., 2016)، چارچوب مرکب DPSIR قابلیت کاربرد در سایر حوزه‌ها را نیز دارد و می‌تواند برای تحلیل وضعیت و تقویت تصمیم‌گیری مدیریتی به کار رود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، اثرات هم‌زمان تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی بررسی و همچنین کارایی عملی راهکارهای پیشنهادی (در صورت اجرای آن‌ها) در بازه‌های زمانی مختلف ارزیابی شود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف معرفی و کاربرد چارچوب مرکب

DPSIR به‌عنوان ابزاری برای تدوین برنامه‌ها و راهکارهای مدیریتی در حوزه آبخیز گورسفید انجام شد. این چارچوب با فراهم کردن امکان ارزیابی جامع سامانه و ترسیم روابط علت و معلولی، راهکارهایی برای بازگرداندن تعادل بوم‌سازگان ارائه داد. نتایج نشان داد DPSIR در شناسایی ارتباط میان فشارهای انسانی و وضعیت‌های محیطی، تسهیل مشارکت ذینفعان و بهبود فرایند تصمیم‌گیری مدیریتی، عملکرد مؤثری دارد.

در این مطالعه، با استفاده از تحلیل کمی، چرخه‌های منفرد، ماتریس اثرات متقابل و نقشه‌های مفهومی، مجموعه‌ای از راهکارهای اولویت‌دار استخراج شد که شامل ۱۱ راهکار برای وضعیت فیزیکی، ۶ راهکار برای وضعیت سیاسی، ۱ راهکار برای وضعیت مدیریتی، ۵ راهکار برای وضعیت اقتصادی، ۱ راهکار برای وضعیت اجتماعی-فرهنگی و ۳ راهکار برای وضعیت بوم‌شناختی است. به‌طورکلی، این چارچوب با ایجاد نگرشی فرآیندی نسبت به نیروهای پیرشان، فشارها، تغییرات وضعیت و اثرات آن‌ها، زمینه را برای تعیین اهداف دقیق، اولویت‌بندی مشکلات و تدوین استراتژی‌های اجرایی فراهم می‌کند و می‌تواند به عنوان الگوی مناسب برای مدیریت پایدار سایر حوزه‌های آبخیز به کار رود.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از طرح پژوهشی با عنوان "تدوین برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز حبله‌رود" به سفارش سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور بوده است. بدین‌وسیله نویسندگان مراتب قدردانی و تشکر خود از حامیان مالی و تمامی کسانی که در این پروژه دخالت داشتند اعلام می‌دارند.

References

Agyemang, I., McDonald, A., & Carver, S. (2007). Application of the DPSIR framework to environmental degradation assessment in northern Ghana. *Natural*

Resources Forum, 31(3), 212–225.
<https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2007.00152.x>

- Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh Noughani, M., & Zakeri, D. (2021). Prioritizing policies and strategies for desertification risk management using MCDM–DPSIR approach in northeastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 2503–2523.
<https://doi.org/10.1007/s10668-020-00684-3>
- Amin Fanaq, D., Rezaei, R., & Zeinalzadeh, K. (2021). Analysis of the crisis status of the Lake Urmia basin and providing strategies for its sustainable management: Application of the DPSIR model. *Iranian Journal of Agricultural Extension and Education Sciences*, 17(2), 29–45. (In Persian)
- Anandhi, A., Douglas-Mankin, K. R., Srivastava, P., Aiken, R. M., Senay, G., Leung, L. R., & Chaubey, I. (2020). DPSIR-ESA vulnerability assessment (DEVA) framework: Synthesis, foundational overview, and expert case studies. *Transactions of the ASABE*, 63(3), 741–752.
<https://doi.org/10.13031/trans.13516>
- Ashfaq, M. Y., Al-Ghouthi, M. A., Qiblawey, H., Zouari, N., Rodrigues, D. F., & Hu, Y. (2019). Use of DPSIR framework to analyze water resources in Qatar and overview of reverse osmosis as an environment-friendly technology. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(4), e13081.
<https://doi.org/10.1002/ep.13081>
- Atkins, J., Burdon, D., Elliott, M., & Gregory, G. (2011). Management of the marine environment: Integrating ecosystem services and societal benefits with the DPSIR framework in a systems approach. *Marine Pollution Bulletin*, 62(2), 215–226.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.12.012>
- Bahmani, O., Ahmadi, H., Jafari, M., & Zehtabian, G. (2021). Evaluating the impact of watershed management activities on upstream urban areas (Case study: Tehran 5th and 22nd district upper watersheds). *Journal of Watershed Management Research*, 11(22), 58–75.
<https://doi.org/10.52547/jwmr.11.22.58> (In Persian)
- Bayat, R., Gerami, Z., Arabkhedri, M., Peyrowan, H., & Kazemi, R. (2021). Investigating the status of some components of assessment of watersheds and prioritizing sub-catchments in terms of erosion reduction (Case study of Karkheh Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), 108–118.
<https://doi.org/10.52547/jwmr.12.23.108> (In Persian)
- Bell, S. (2012). DPSIR: A problem structuring method? An exploration from the “Imagine” approach. *European Journal of Operational Research*, 222(1), 350–360.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.029>
- Benzina, I., Bachir, A., Arar, A., Perennou, C., & Guelmami, A. (2024). Using DPSIR framework for the implementation of wetlands observatory: Case study Sebkhates of Aures wetlands complex (Northeast, Algeria). *Environment, Development and Sustainability*, 18(1), 293–309.
<https://doi.org/10.47743/pesd2024181021>
- Borja, A., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E. M., Uriarte, A., & Valencia, V. (2006). The European Water Framework Directive and the DPSIR: A methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1–2), 84–96.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.07.021>
- Bruno, M. F., Saponieri, A., Molfetta, M., & Damiani, L. (2020). The DPSIR approach for coastal risk assessment under climate change at regional scale: The case of Apulian Coast (Italy). *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(7), 531.
<https://doi.org/10.3390/jmse8070531>
- Carr, E. R., Wingard, P. M., Yorty, S. C., Thompson, M. C., Jensen, N. K., & Roberson, J. (2007). Applying DPSIR to sustainable development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14(6), 543–555.
<https://doi.org/10.1080/13504500709469753>
- Carnohan, S. A., Trier, X., Liu, S., Clausen, P. W., Clifford-Holmes, J., Hansen, S., Benini, L., & McKnight, U. (2023). Next generation application of DPSIR for sustainable policy implementation. *Environmental Sustainability*, 5, 100201.
<https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100201>
- Deitch, M. J., Gancel, H. N., Croteau, A. C., Caffrey, J. M., Scheffel, W., Underwood, B., Muller, J. W., Boudreau, D., Cantrell,

- C. G., Posner, M. J., & Bibza, J. (2021). Adaptive management as a foundational framework for developing collaborative estuary management programs. *Journal of Environmental Management*, 295, 113107. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113107>
- Dolbeth, M., Stålnacke, P., Alves, F. L., Sousa, L. P., Gooch, G. D., Khokhlov, V (2016). An integrated pan-European perspective on coastal lagoons management through a mosaic-DPSIR approach. *Scientific Reports*, 6, 19400. <https://doi.org/10.1038/srep19400>
- Dzoga, M., Simatele, D. M., Munga, C., & Yonge, S. (2020). Application of the DPSIR framework to coastal and marine fisheries management in Kenya. *Ocean Science Journal*, 55(2), 193–201. <https://doi.org/10.1007/s12601-020-0013-y>
- Ebrahimi, Z. (2021). The application of adaptive management in watersheds (The study area of Mekhsaz watershed in Mazandaran province) [Ph.D. thesis, Noor Faculty of Natural Resources and Marine Sciences]. (In Persian)
- Ebrahim, Sh., Jamshidi, D., & Ali-Kaie, S. (2024). Developing and applying a conceptual framework affecting the analysis of water resources based on the DPSIR technique (Case study: Bagh-Faiz, Tehran). *Journal of Environmental Studies*, 50(1), 17–41. <https://doi.org/10.22059/JES.2024.367508.1008453> (In Persian)
- Fathi, E., Ekhtesasi, M. R., Talebi, A., & Mosaffaie, J. (2025, May 25). Management responses to improve the health of the Ilam Dam watershed using the DPSIR approach. *Watershed Engineering and Management. Advance online publication*. <https://doi.org/10.22092/IJWMSE.2025.367668.2088> (In Persian)
- Gari, S. R., Guerrero, C. E. O., Bryann, A., Icely, J. D., & Newton, A. (2018). A DPSIR analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council. *Water Science*, 32(2), 318–337. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.06.001>
- Gebremedhin, S., Getahun, A., Anteneh, W., Bruneel, S., & Goethals, P. (2018). A drivers–pressure–state–impact–responses framework to support the sustainability of fish and fisheries in Lake Tana. *Sustainability*, 10(8), 2957. <https://doi.org/10.3390/su10082957>
- Gregory, A. J., Atkins, J. P., Burdon, D., & Elliott, M. (2013). A problem structuring method for ecosystem-based management: The DPSIR modeling process. *European Journal of Operational Research*, 227(3), 558–569. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.020>
- Hammond, M., Chen, A. S., Batiga, J., Butler, D., Djordjević, S., Gourbesville, P., & Veerbeek, W. (2018). A new flood risk assessment framework for evaluating the effectiveness of policies to improve urban flood resilience. *Urban Water Journal*, 15(5), 427–436. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1508598>
- Hansson, K., Danielson, M., & Ekenberg, L. (2008). A framework for evaluation of flood management strategies. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 465–480. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.037>
- Hou, Y., Zhou, S., Burkhard, B., & Müller, F. (2014). Socioeconomic influences on biodiversity, ecosystem services, and human well-being: A quantitative application of the DPSIR model in Jiangsu, China. *Science of the Total Environment*, 490, 1012–1028. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.071>
- Kagalou, I., Leonardos, I., Anastasiadou, C., & Neofytou, C. (2012). The DPSIR approach for an integrated river management framework: A preliminary application on a Mediterranean site (Kalamas River, NW Greece). *Water Resources Management*, 26(6), 1677–1692. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-9980-9>
- Khosravi, G., Sadoddin, A., Ownegh, M., Bahremand, A. (2021). Hydromorphological assessment and developing a river basin management plan using a multi-scale hierarchical framework for the Tilabad Watershed (Province Golestan). A Ph.D thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Mahini, A. S., & Kamyab, H. R. (2017). *Review, revision, modification, and updating of the watershed management planning document*. Natural Resource and

- Watershed Management Organization, Iran. (In Persian).
- Mosaffaie, J., Salehpour Jam, A., Tabatabaei, M. R., & Kousari, M. R. (2021). Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. *Land Use Policy*, 100, 104911. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104911>
- Quevedo, J. D., Lukman, K. M., Ulumuddin, Y., Uchiyama, Y., & Kohsaka, R. (2023). Applying the DPSIR framework to qualitatively assess the globally important mangrove ecosystems of Indonesia: A review towards evidence-based policymaking approaches. *Marine Policy*, 147, 105354. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105354>
- Sadoddin, A., Shahabi, M., & Bai, M. (2017). *Integrated watershed assessment and management: Principles and approaches for modelling and decision making*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press. (Book, In Persian)
- Salehpour Jam, A., & Mosaffaie, J. (2024). Identifying and prioritizing reactive and proactive solutions to improve the health of the Kal-Aji watershed using the DPSIR framework and non-parametric statistical tests. *Watershed Engineering and Management*. Advance online publication. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2025.368665.2103> (In Persian)
- Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J., & Tabatabaei, M. R. (2021). Management responses to improve the health of the Chehel-Chay watershed using the DPSIR framework. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(4), 797–811. (In Persian)
- Scharin, H., Ericsson, S., Elliott, M., Turner, R. K., Niiranen, S., Blenckner, T., Hyytiäinen, K., Ahlvik, L., Ahtiainen, H., Artell, J., Hasselström, L., Söderqvist, T., & Rockström, J. (2016). Processes for the sustainable stewardship of marine environments. *Ecological Economics*, 128, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.04.010>
- Sheikh, V., Zare Garizi, A., Alvandi, E., Asadi Nalivan, O., Khosravi, G., Sadoddin, A., & Ownegh, M. (2020). Participatory site selection for the proposed options in the management of the Hable-Roud Basin. *Watershed Management Research*, 32(4), 2–18. <https://doi.org/10.22092/wmej.2019.125497.1194> (In Persian)
- Sheikh, V., Khosravi, G., Alvandi, E., Asadi Naliva, O., & others. (2018). Development of integrated watershed management plan for Hable-roud River Basin [Research report, Natural Resources and Watershed Management Organization, Iran]. (In Persian).
- Smith, C., Papadopoulou, K.-N., Barnard, S., Mazik, K., Elliott, M., Patrício, J., Solaun, O., Little, S., Bhatia, N., & Borja, A. (2016). Managing the marine environment: Conceptual models and assessment considerations for the European Marine Strategy Framework Directive. *Frontiers in Marine Science*, 3, 144. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00144>.
- Swangjang, K., & Kornpiphat, P. (2021). Does ecotourism in a mangrove area at Klong Kone, Thailand, conform to sustainable tourism? A case study using SWOT and DPSIR. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 15960–15985. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01313-3>
- Wang, W., Sun, Y., & Wu, J. (2018). Environmental warning system based on the DPSIR model: A practical and concise method for environmental assessment. *Sustainability*, 10(6), 1728. <https://doi.org/10.3390/su10061728>
- Zare, F., Sondoss, E., Bagheri, A., Nabavi, E., & Jakemane, A. J. (2019). Improved integrated water resource modelling by combining DPSIR and system dynamics conceptual modelling techniques. *Journal of Environmental Management*, 246, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.033>
- Zhao, R., Fang, C., Liu, H., & Liu, X. (2021). Evaluating urban ecosystem resilience using the DPSIR framework and the ENA model: A case study of 35 cities in China. *Sustainable Cities and Society*, 72, 102997. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102997>

Spatiotemporal dynamics of soil erosion, sediment retention, and yield within the ecosystem services framework in a mountainous region of northern Iran

Mohsen Zabihi^{1*}, Hamidreza Moradi¹, Abdulvahed Khaledi Darvishan¹, Mehdi Gholamalifard²

1. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2. Department of the Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

*Corresponding author Email: mohsen_zabihi69@yahoo.com

(Received: 20 July 2025

Revised: 14 September 2025

Accepted: 19 September 2025)

Extended Abstract

Introduction: Soil loss and sediment yield are among the main challenges in watershed management, especially in mountainous areas, which, in addition to reducing soil fertility and ecosystem functioning, also threaten water quality and the sustainability of hydrological services. In this context, watershed hydrological services, such as sediment retention, are of high importance because they control soil erosion and reduce downstream sediment transport, thereby improving water quality. The topographic, climatic, and human conditions of mountainous regions in northern Iran, especially the Hyrcanian forests, make these areas particularly susceptible to soil degradation, increasing the need for monitoring ecosystem services and analyzing the spatiotemporal dynamics of sediment retention to assess changes in ecosystem functioning and the effectiveness of management measures. In this regard, the InVEST model, with a simple structure, limited input requirements, and high interpretability, is an effective tool for analyzing these services at the watershed scale. This model, using sediment delivery ratio equations and spatial data, allows examination of the spatiotemporal changes in soil erosion, sediment yield, and sediment retention. Given the need for comprehensive studies in Iran, especially in the Hyrcanian forests, the present study aims to investigate the spatiotemporal changes of soil loss, sediment retention, and sediment yield over a 25-year period in the Talar mountainous watershed. Additionally, sensitivity analysis of model input factors was conducted to identify the most influential variables affecting sediment delivery ratio results.

Materials and methods: The study area is the Talar watershed (Mazandaran Province), spanning over 1,700 km² on the northern slopes of the Alborz mountain range, with an elevation range from 216 to 3,983 meters. The SDR model from the InVEST toolkit was applied to estimate annual soil loss, sediment retention, and sediment yield. Average soil loss was calculated using the InVEST soil erosion equation based on key factors including rainfall erosivity, soil erodibility, vegetation cover, land management, and topography across three study periods. Additional parameters such as the sediment connectivity index, K factor, and maximum sediment delivery ratio were defined based on regional characteristics and expert knowledge. A sensitivity analysis of the model input factors was also conducted to identify the most influential variables affecting the sediment delivery ratio outcomes.

Results and Discussion: According to the results, over the 25-year study period, soil loss decreased from 896,535 to 758,981 ton, sediment retention from 1.297 to 0.757 million ton, and sediment yield from 113,643 to 57,426 ton. The main cause of this reduction was a 28.8 % decrease in rainfall erosivity during the study period. The analysis showed that pasture land had the highest sediment retention capacity (415,978 ton), whereas orchards had the lowest (3,676 t). Meanwhile, the highest sediment yield occurred in rainfed agriculture and pasture, while forests and orchards had the lowest amounts. Sensitivity analysis indicated that rainfall erosivity, with a relative sensitivity coefficient of 0.99, was the most important factor affecting soil loss, sediment retention, and sediment yield, explaining more than 47 % of model output variations. The K parameter also influenced sediment retention and yield, though it had no direct effect on soil loss. Overall, the InVEST model is more sensitive to natural parameters such as rainfall than to management variables, highlighting the necessity of integrating climatic data with human interventions in management.

Conclusion: The findings indicate that the InVEST model, with high spatiotemporal analysis capability, is a suitable tool for assessing watershed hydrological services, especially in mountainous regions. The observed reduction in soil loss, sediment retention, and sediment yield over the study period was mainly due to decreased rainfall erosivity and climatic changes. Dense vegetation cover, such as forests and pastures, played a key role in sediment retention and soil erosion reduction, while human land uses such as agriculture contributed more to sediment yield. Sensitivity analysis emphasized the importance of natural factors, particularly rainfall, in watershed management. The findings can be applied to identify critical areas for conservation, prioritize sensitive land uses, design monitoring systems, and develop future management scenarios. It is recommended that future studies utilize long-term data, complementary models, and scenario-based analyses under climate change to enhance the accuracy of assessments and the applicability of results in ecosystem management decisions.

Keywords: Hyrcanian forests, Hydrological services, InVEST model, Sediment delivery ratio, Talar watershed

Citation: Zabihi, M., Moradi, H., Khaledi Darvishan, A., & Gholamalifard, M. (2026). Spatiotemporal dynamics of soil erosion, sediment retention, and yield within the ecosystem services framework in a mountainous region of northern Iran. *Integrated Watershed Management*, 6(2), 47-63. doi = 10.22034/iwm.2025.2066256.1237

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



پویایی زمانی-مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب در چارچوب مدل خدمات

اکوسیستمی در یک منطقه کوهستانی شمال ایران

محسن ذبیحی^{۱*}، حمیدرضا مرادی^۱، عبدالواحد خالدی درویشان^۱، مهدی غلامعلی فرد^۲

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

*نویسنده مسئول: mohesen_zabihi69@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹

چکیده مبسوط

مقدمه: هدررفت خاک و تولید رسوب به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی مدیریت آبخیزها، به‌ویژه در مناطق کوهستانی، علاوه بر کاهش حاصلخیزی و عملکرد اکوسیستم، کیفیت منابع آب و پایداری خدمات هیدرولوژیک را نیز تهدید می‌کند. در این میان، خدمات هیدرولوژیک آبخیزها مانند نگهداشت رسوب از اهمیت بالایی برخوردارند، زیرا با کنترل فرسایش خاک و کاهش انتقال رسوب به پایین‌دست، در ارتقای کیفیت منابع آبی مؤثرند. شرایط توپوگرافی، اقلیمی و انسانی مناطق کوهستانی شمال ایران، به‌ویژه جنگل‌های هیرکانی، این نواحی را مستعد تخریب منابع خاکی کرده و ضرورت پایش خدمات اکوسیستمی و تحلیل پویایی زمانی-مکانی نگهداشت رسوب برای ارزیابی تغییرات عملکرد اکوسیستم و اثربخشی اقدامات مدیریتی را افزایش داده است. در این راستا، مدل InVEST با ساختاری ساده، نیاز ورودی محدود و قابلیت تفسیر بالا ابزاری مؤثر برای تحلیل این خدمات در سطح حوزه‌های آبخیز است. این مدل با بهره‌گیری از نسبت تحویل رسوب و داده‌های مکانی، امکان بررسی تغییرات زمانی-مکانی فرسایش، تولید و نگهداشت رسوب را فراهم می‌آورد. با توجه به نیاز به مطالعات جامع در ایران، به‌ویژه جنگل‌های هیرکانی، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی-مکانی سه مؤلفه هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب طی یک دوره ۲۵ ساله در آبخیز کوهستانی تالار انجام شده است. همچنین تحلیل حساسیت عوامل ورودی برای شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر نتایج نسبت تحویل رسوب مدنظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، مدل SDR از مجموعه ابزارهای InVEST برای محاسبه سالانه هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب به‌کار گرفته شد. میانگین هدررفت خاک با استفاده از معادله برآورد فرسایش خاک در مدل InVEST و بر مبنای عوامل اصلی شامل فرسایش باران، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی، مدیریت اراضی و توپوگرافی در سه دوره مطالعاتی محاسبه شد. سایر پارامترهای موردنیاز مانند شاخص اتصال رسوبی (ICo)، پارامتر K و حداکثر نسبت تحویل رسوب بر اساس اطلاعات و شناخت از ویژگی‌های منطقه‌ای تعیین شد. در ادامه، به‌منظور شناسایی متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر مدل نسبت تحویل رسوب، تحلیل حساسیت به روش تغییر هر متغیر در هر بار اجرای مدل بر پایه ضریب حساسیت نسبی انجام گرفت.

نتایج و بحث: براساس نتایج پژوهش، طی دوره ۲۵ ساله، هدررفت خاک از ۸۹۶۵۳۵ به ۷۵۸۹۸۱ تن، نگهداشت رسوب از ۱/۲۹۷ به ۰/۷۵۷ میلیون تن و تولید رسوب از ۱۱۳۶۴۳ به ۵۷۴۲۶ تن کاهش یافته است که عامل اصلی آن، افت ۲۸/۸ درصدی فرسایش باران بوده است. بیشترین ظرفیت نگهداشت رسوب در کاربری‌های اراضی مربوط به مرتع (۴۱۵۹۷۸ تن) و کمترین مربوط به باغ (۳۶۷۶ تن) است. بیشترین تولید رسوب در کشاورزی دیم و مرتع و کمترین در جنگل و باغ مشاهده شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد فرسایش باران با ضریب حساسیت نسبی ۰/۹۹، مهم‌ترین پارامتر مدل و مسئول بیش از ۴۷ درصد تغییرات خروجی است، براساس نتایج، در حالی که پارامتر K بر نگهداشت و تولید رسوب اثر دارد ولی بر هدررفت خاک تأثیر مستقیم ندارد. مدل InVEST نسبت به عوامل طبیعی مانند بارش حساس‌تر از متغیرهای مدیریتی است، که ضرورت تلفیق اطلاعات اقلیمی و مداخلات انسانی را در مدیریت نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد مدل InVEST با قابلیت تحلیل مکانی و زمانی بالا، ابزاری مناسب برای ارزیابی خدمات هیدرولوژیک آبخیزها، به‌ویژه در مناطق کوهستانی است. کاهش هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب طی دوره مطالعه عمدتاً ناشی از کاهش فرسایش باران و تغییرات اقلیمی بوده است. پوشش گیاهی متراکم مانند جنگل و مرتع نقش کلیدی در حفظ رسوبات و کاهش فرسایش داشته، در حالی که کاربری‌های انسانی مانند کشاورزی سهم بیشتری در تولید رسوب دارند. تحلیل حساسیت مدل نشان داد توجه به عوامل طبیعی، به‌ویژه بارندگی، در مدیریت حوضه ضروری است. یافته‌ها می‌تواند برای شناسایی مناطق بحرانی، اولویت‌بندی کاربری‌های حساس، طراحی نظام پایش و تدوین سناریوهای مدیریت منابع خاک کاربرد داشته باشند. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی با داده‌های بلندمدت، مدل‌های مکمل و تحلیل سناریویی در چارچوب تغییر اقلیم انجام شود.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های هیرکانی، خدمات هیدرولوژیک، مدل InVEST، نسبت تحویل رسوب، آبخیز تالار

استناد: ذبیحی، م.، مرادی، ح.، خالدی درویشان، ع.؛ و غلامعلی فرد، م. (۱۴۰۵). پویایی زمانی-مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب در چارچوب مدل خدمات اکوسیستمی در یک منطقه کوهستانی شمال ایران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴۷-۶۳، (۲)، ۶.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

فرسایش خاک و تجمع رسوب از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز در مناطق کوهستانی به‌شمار می‌رود که پیامدهایی همچون کاهش حاصلخیزی خاک، افت کارایی اکوسیستم و تهدید کیفیت منابع آب را به همراه دارد (Rehman et al., 2022). تحلیل پویایی زمانی-مکانی این فرآیندها در چارچوب خدمات اکوسیستمی، به‌ویژه با تمرکز بر خدمت نگهداشت رسوب^۱، می‌تواند درک بهتری از عملکرد اکوسیستم و اثربخشی اقدامات مدیریتی فراهم آورد. آبخیز یک واحد فیزیکی، اکولوژیک، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی و همچنین واحدی قابل برنامه‌ریزی و مدیریت طبیعی است که به‌عنوان محور اصلی برنامه‌ریزی‌ها برای توسعه پایدار مطرح است (He & James, 2021). مدیریت جامع آبخیز راهی برای دستیابی به توسعه پایدار و ایجاد تعادل بین کلیه منابع موجود در اکوسیستم و در نهایت پایداری آن است. با این وجود، روند تخریبی حوزه‌های آبخیزها و فشارهای موجود بر اکوسیستم‌های طبیعی به‌دلیل تغییر اقلیم، افزایش جمعیت و همچنین توسعه در ابعاد مختلف از جمله مسائل و چالش‌های مهم مدیریتی کشورها (Tiwari & Joshi, 2012; Mperejekumana et al., 2024) و به‌ویژه کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود. ادامه تخریب منابع طبیعی منجر به شناخت و درک اهمیت خدمات آبخیزها و تأثیر آن بر سلامت و رفاه انسان به‌عنوان هدف نهایی مدیریت منابع طبیعی می‌شود (Wang et al., 2016; Luo et al., 2024; Sayed et al., 2025). خدمات آبخیز^۲ به مجموعه‌ای از منافع مستقیم و غیرمستقیم اطلاق می‌شود که آبخیزها برای جوامع انسانی فراهم می‌کنند. در میان انواع این خدمات، خدمات هیدرولوژیک نقش محوری در تنظیم و مدیریت چرخه آب ایفا کرده و زیربنای بسیاری از دیگر خدمات زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند (Xue et al.,

2024; Juan-Diego et al., 2025). این دسته از خدمات شامل فرآیندها و کارکردهای طبیعی مرتبط با آب، مانند تنظیم جریان، تصفیه آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی، کنترل سیلاب و نگهداشت رسوب هستند که نقشی اساسی در حفظ عملکرد اکوسیستم و تأمین منافع انسانی دارند. در این میان، نگهداشت رسوب به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی خدمات هیدرولوژیک، نشان‌دهنده ظرفیت طبیعی چشم‌انداز برای جلوگیری از جابجایی و انتقال رسوبات به مناطق پایین‌دست است (Gwal et al., 2024). ارزیابی این خدمت، به‌ویژه در مناطق کوهستانی که مستعد فرسایش و از دست رفتن خاک هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. در چنین شرایطی، استفاده از مدل‌های ساده، داده‌محور و کاربرپسند که به داده‌های ورودی محدودتری نیاز دارند و از نظر کاربرد و تفسیر نتایج نیز از سهولت بالایی برخوردارند، به‌عنوان رویکردی کارآمد برای ارزیابی خدماتی همچون نگهداشت رسوب مطرح می‌شود (Vigerstol & Aukema, 2011). مدل InVEST^۳ از جمله ابزارهای پیشرو در این زمینه است که برای ارزیابی خدمات اکوسیستمی توسعه یافته و بر اساس مطالعات مختلف (Sharp et al., 2018; Marques et al., 2021)، به‌عنوان یکی از پراستفاده‌ترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی خدمات اکوسیستم شناخته می‌شود. این مدل با بهره‌گیری از داده‌های در دسترس و ساختار ساده، امکان شناسایی مناطق بحرانی از نظر فرسایش خاک و تحلیل فضایی الگوهای نگهداشت رسوب را فراهم می‌کند و می‌تواند ابزاری مؤثر برای پشتیبانی از مدیریت پایدار منابع طبیعی در مقیاس آبخیز باشد (Kantharajan et al., 2023).

بررسی پویایی زمانی و مکانی خدمت اکوسیستمی نگهداشت رسوب نقش به‌سزایی در درک فرآیندهای فرسایشی، عملکرد اکوسیستم و مدیریت پایدار منابع

طبیعی دارد. این خدمت بیان‌گر توان طبیعی یک چشم‌انداز در کاهش انتقال رسوب و حفظ پایداری خاک در برابر عوامل فرسایشی است (Gwal et al., 2024). تغییرات کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و نوسانات اقلیمی از مهمترین عواملی هستند که موجب تغییر در فرسایش خاک و ظرفیت نگهداشت رسوب طی زمان و در سطح مکان می‌شوند (Talebikhiavi et al., 2017). تحلیل این پویایی‌ها با استفاده از مدل‌های مکان‌محور، امکان شناسایی مناطق بحرانی، تحلیل روندهای تغییر و ارزیابی اثربخشی مداخلات مدیریتی را فراهم می‌سازد. شناسایی مناطق با کاهش توان نگهداشت رسوب می‌تواند به‌عنوان هشدار اولیه برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی به‌کار رود (Roba et al., 2021). بررسی تغییرات زمانی و مکانی این خدمت همچنین به تبیین تعاملات پیچیده بین انسان و اکوسیستم کمک کرده و پایه‌ای برای تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر خدمات اکوسیستمی فراهم می‌سازد. از این رو، ارزیابی مستمر این خدمت در دوره‌های زمانی مختلف، ابزاری مؤثر برای مدیریت تطبیقی و تقویت تاب‌آوری اکوسیستم‌های حساس محسوب می‌شود (Turner et al., 2022).

پژوهش‌های متعددی در خصوص تحلیل مکانی و زمانی خدمت اکوسیستمی نگهداشت رسوب با استفاده از مدل InVEST صورت گرفته است. در این راستا، Hamel و همکاران (۲۰۱۵) حساس‌ترین عوامل مؤثر در شبیه‌سازی نگهداشت رسوب در کارولینای شمالی آمریکا را فرساینده‌گی باران معرفی کردند و قابلیت مدل InVEST را با وجود محدودیت داده‌ها تأیید نمودند. Bouguerra و Jebari (۲۰۱۷) در بررسی زیرحوضه‌های رودخانه Rmel تونس، بیش از ۶۰ درصد مناطق را دارای هدررفت خاک بیش از ۵ تن در هکتار در سال گزارش کردند که افزایش شیب، به‌ویژه در اراضی کشاورزی، علت اصلی آن بوده است. Cerretelli و همکاران (۲۰۱۸) بر لزوم استفاده از داده‌های محلی به جای داده‌های جهانی در مدل‌سازی‌های منطقه‌ای تأکید کردند. Bai و همکاران (۲۰۱۹) در ایالت

Kentucky آمریکا نشان دادند که تغییر کاربری اراضی اثر بیشتری بر نگهداشت رسوب نسبت به تغییر اقلیم دارد. Chen و همکاران (۲۰۱۹) در چین ارتباط معکوسی بین شدت خدمات اکوسیستمی و توسعه شهری گزارش کردند. Chauhan و همکاران (۲۰۲۴) در آبخیز جنوب Shimla واقع در منطقه هیمالیا با استفاده از مدل نسبت تحویل رسوب در چارچوب InVEST، تغییرات مکانی و زمانی نگهداشت رسوب را ارزیابی کرده و کاهش ظرفیت در زیرحوضه‌های شمالی و افزایش آن در نواحی جنوبی را ناشی از تغییرات کاربری اراضی تشخیص دادند. Pérez-Cutillas و همکاران (۲۰۲۵) نیز در ۱۲ حوزه آبخیز در کشور مراکش نشان دادند که افزایش ماده آلی خاک و اقدامات حفاظتی، کاهش انتقال رسوب و بهبود کارایی نگهداشت را در پی داشته است. در ایران، Asadolahi و همکاران (۲۰۱۵) میزان هدررفت خاک را تا ۷۵ تن در سطح پیکسل با ابعاد ۹۰ متری و نگهداشت رسوب را تا حدود ۴۰۰۰ تن در هکتار در آبخیز گرگانرود برآورد کردند. Barzali و همکاران (۲۰۲۲) در حوزه آبخیز اترک، جنگل‌ها و مراتع خوب را دارای بیشترین ظرفیت نگهداشت رسوب دانستند و کاهش پوشش گیاهی را عامل افزایش فرسایش خاک عنوان کردند. در مطالعه‌ای دیگر، Sadat و همکاران (۲۰۲۳) در حوضه‌های لاهیجان چابکسر و آستانه کوچصفهان، تغییرات قابل توجهی در فرسایش خاک و خدمت نگهداشت رسوب طی دو دهه گذشته شناسایی کردند. Zarandian و همکاران (۲۰۲۳) در ارزیابی نقش کاربری اراضی در عرضه خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در استان سمنان با استفاده از مدل InVEST به این نتیجه دست یافتند که پتانسیل اتلاف خاک و انتقال رسوب به‌ترتیب از صفر تا ۲۴۸/۱۸ و از صفر تا ۵۷/۲۵ تن در پیکسل با ابعاد ۱۰ متری متغیر است. Namazi و همکاران (۲۰۲۵) در شهرستان سرخس با استفاده از مدل InVEST نشان دادند که بیشترین ظرفیت نگهداشت رسوب مربوط به کاربری مرتعی و کم‌ترین آن مربوط به کاربری مسکونی است و تغییر

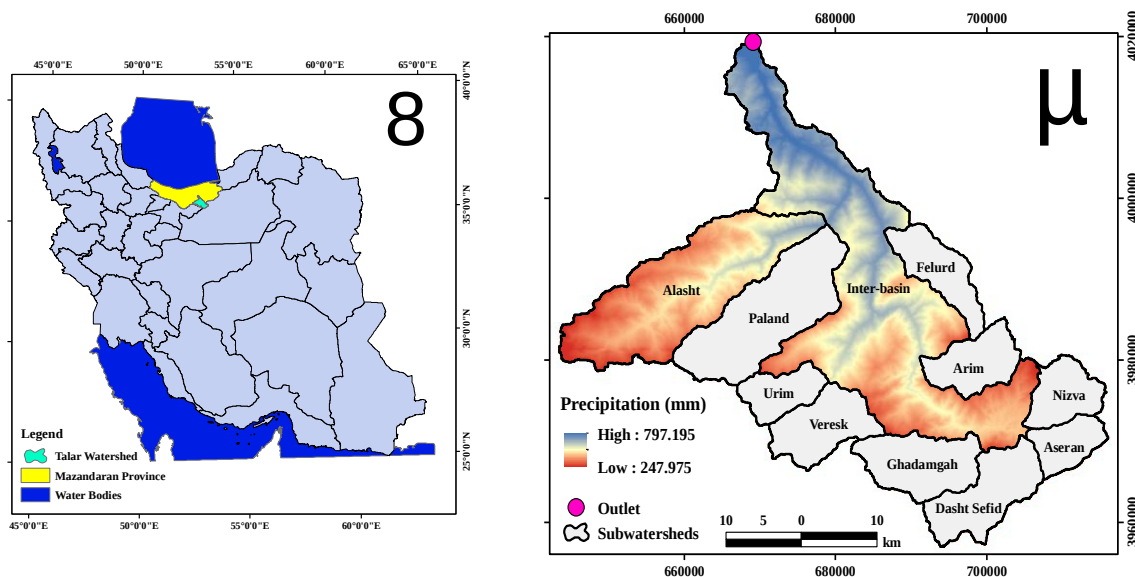
شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار، از دیگر اهداف این پژوهش به‌شمار می‌رود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، آبخیز تالار در استان مازندران با مساحتی بالغ بر ۱۷۰۰ کیلومتر مربع برای مطالعه حاضر انتخاب شده است. این آبخیز در حد واسط $35^{\circ} 22'$ تا $52^{\circ} 34' 23''$ طول شرقی و $36^{\circ} 19' 1''$ عرض شمالی و در دامنه شمالی رشته‌کوه البرز واقع شده و از نظر ارتفاع بین ۲۱۶ تا ۳۹۸۳ متر متغیر است. اقلیم منطقه از نوع شبه مدیترانه‌ای است که براساس طبقه‌بندی دوما رتن جزء اقلیم نیمه‌مرطوب محسوب می‌شود. میانگین بارش و تبخیر نیز به ترتیب برابر با ۵۴۷ و ۴۴۶ میلی‌متر برآورد شده است (Zabihi *et al.*, 2025). رودخانه تالار مهم‌ترین رودخانه آبخیز است که به زهکشی آن به دریای خزر می‌پردازد (Solaimani *et al.*, 2021). کاربری اراضی آبخیز تالار نیز شامل کشاورزی دیم، جنگل، کشاورزی آبی، باغ، مرتع و منطقه مسکونی است که کاربری غالب آن از نوع مرتعی است (Zabihi *et al.*, 2020). ساختار زمین‌شناسی منطقه از دوره پرکامبرین تا زمان حاضر را شامل می‌شود و جهت گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها عمدتاً جنوب‌شرقی-شمال‌غربی است. مواد مادری منطقه عمدتاً ماسه‌سنگ همراه با شیل، مارن و گاهی سنگ آهک بوده و خاک‌های با بافت متوسط تا سبک و نفوذپذیری متوسط را تشکیل می‌دهند (Vahabzadeh & Ahmadi, 2022)، که این ویژگی‌ها بر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب‌گذاری در آبخیز تأثیرگذار هستند (Ashtari & Nosrati, 2024). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان مازندران نشان می‌دهد.

کاربری و کاهش پوشش گیاهی عامل افزایش فرسایش خاک در نواحی مرکزی و شرقی منطقه بوده است. مرور مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از مدل InVEST برای تحلیل الگوهای مکانی و زمانی فرسایش خاک و نگهداشت رسوب در چارچوب خدمات اکوسیستم در پژوهش‌های بین‌المللی و ملی رو به گسترش است. در این مطالعات، تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پویایی رسوب معرفی و بر نقش داده‌های محلی در افزایش دقت مدل‌سازی تأکید شده است. لازم به ذکر است که بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده در ایران، ارزیابی خدمت اکوسیستمی نگهداشت رسوب را به‌صورت ایستا یا مقطعی مورد بررسی قرار داده‌اند. از سوی دیگر، در مناطق کوهستانی شمال ایران، به‌ویژه در ناحیه جنگل‌های هیرکانی که با شرایط توپوگرافی و اقلیمی پیچیده و اکوسیستم‌های حساس شناخته می‌شوند، تحلیل تغییرات زمانی و مکانی نگهداشت رسوب به‌عنوان یکی از خدمات هیدرولوژیک آبخیز، نیازمند توجه و مطالعه‌ای جامع‌تر است. بدین منظور، انجام مطالعاتی با رویکردی یکپارچه که روندهای بلندمدت تغییرات فرسایش خاک، تولید و نگهداشت رسوب را در چارچوب خدمات اکوسیستم بررسی کرده و تعامل میان عوامل اکولوژیکی و مداخلات انسانی در مناطق کوهستانی را مورد توجه قرار دهد، ضروری است. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف تحلیل پویایی زمانی و مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب با بهره‌گیری از مدل خدمات اکوسیستمی InVEST طی یک دوره ۲۵ ساله در منطقه‌ای کوهستانی از استان مازندران طراحی شده است. تحلیل حساسیت عوامل مؤثر بر هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب در چارچوب مدل مذکور، به‌منظور



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در ایران و استان مازندران

Figure 1- Geographic location of the study area in Iran and Mazandaran Province

$$SDR = \frac{SDR_{max}}{\left(\frac{IC_0 - IC}{K}\right) \exp + 1} \quad (1)$$

در این رابطه، SDR_{max} بیشینه نسبت تحویل رسوب، IC شاخص اتصال رسوبی، IC_0 مقدار آستانه شاخص اتصال رسوب و k پارامتر شکل منحنی می‌باشد. در ادامه، میانگین بار رسوبی (تن بر هکتار در سال) نیز به صورت حاصلضرب میزان هدررفت خاک در نسبت تحویل رسوب به دست می‌آید (Renard et al., 1997; Gashaw et al., 2021). اکوسیستمی نگهداشت رسوب (تفاوت هدررفت خاک در شرایط کاربری اراضی فعلی و شرایط فرضی زمین بایر) براساس رابطه ترکیبی و تأثیر 1-CP در عوامل هدررفت خاک و نسبت تحویل رسوب محاسبه می‌شود (Hopkins et al., 2018; Marques et al., 2021). اختلاف دو حالت مذکور، نمایانگر ظرفیت اکوسیستم در کاهش فرسایش و حفظ خاک است؛ بنابراین، این شاخص اهمیت نقش خدمات اکوسیستم را در حفظ منابع خاک و ارتقای پایداری اکوسیستم نشان می‌دهد. به منظور اجرای مدل InVEST عوامل ورودی مدل در سال‌های مطالعاتی (۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳) شامل

روش تحقیق

به منظور مدل سازی مؤلفه‌های مرتبط با فرسایش خاک در چارچوب مدل خدمات اکوسیستمی InVEST، ماژول نسبت تحویل رسوب (SDR)^۱ استفاده شد. این ماژول بر پایه رابطه پیشنهادی Borselli و همکاران (۲۰۰۸) و توسعه‌های بعدی توسط Vigiak و همکاران (۲۰۱۲) عمل می‌کند. در ماژول مورد اشاره، ابتدا مقدار هدررفت خاک سالانه با استفاده از معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) محاسبه می‌شود. نسبت تحویل رسوب (SDR) برای هر پیکسل بر اساس شاخص اتصال رسوبی (IC)^۲ و به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود. لازم به توضیح است که در مدل InVEST، انتقال رسوب از لکه‌های فرسایشی به آبراهه تابعی از اتصال هیدرولوژیک است. شاخص اتصال رسوبی میزان ارتباط مکانی بین نقاط فرسایشی و شبکه آبراهه‌ها را کمی سازی می‌کند. بر همین اساس، هرچه شاخص اتصال رسوبی بیشتر باشد، SDR بالاتر شده و سهم بیشتری از خاک فرسایش یافته به مجاری زهکشی منتقل می‌شود.

عامل فرساینده‌گی باران با استفاده از رابطه بارش سالانه و فرساینده‌گی باران (Ghorbanpour, 2004)، عامل فرسایش‌پذیری خاک براساس خصوصیات بافت خاک در هر یک از واحدهای اراضی منطقه مطالعاتی و رابطه ارائه شده در معادله جهانی هدررفت خاک (Wischmeier and Smith, 1978; Rostami & Rabbani, 2023; Haji et al., 2024)، عامل مدیریت زراعی براساس شاخص نرمال شده پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مورد پژوهش (Ayalew et al., 2020)، عامل مدیریت اراضی بر اساس نوع کاربری اراضی و شرایط منطقه تعیین شد (Teh, 2011) که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقدار عامل مدیریت اراضی در هر یک از کاربری‌های اراضی آبخیز تالار

Table 1- Value of the land management factor for each land use type in the Talār Watershed

کاربری اراضی	سال		
	1393	1379	1368
کشاورزی دیم	0.453	0.51	0.5
جنگل	0.104	0.106	0.113
کشاورزی آبی	0.447	0.449	0.452
باغ	0.4	0.4	0.4
مرتع	0.592	0.592	0.598
منطقه مسکونی	0.407	0.404	0.402

کاربری اراضی آبخیز تالار نیز بر اساس روش نظارت شده ماشین بردار پشتیبان در محیط نرم‌افزار ENVI تهیه شد (Zabihi et al., 2020). مدل رقومی ارتفاع با دقت مکانی ۳۰ متر از سازمان نقشه‌برداری کشور اخذ و استفاده شد. آستانه تجمعی جریان پس از بررسی آبراهه‌های رتبه یک در آبخیز تالار و میانگین‌گیری سلول‌های مشارکت‌کننده، برابر با ۱۰۰ تعیین شد. مطابق با توصیه دستورالعمل استفاده از مدل InVEST، شاخص IC و پارامتر K در آبخیز مطالعاتی به ترتیب برابر با ۰/۵ و ۲ تعیین شد (Vigiak et al., 2011).

2012). لازم به توضیح است که این دو پارامتر واسنجی هستند که شکل رابطه بین اتصال هیدرولوژیک و نسبت تحویل رسوب را تعیین می‌کنند. مقدار بیشینه مقدار نسبت تحویل رسوب با توجه به وضعیت اقلیم و کاربری اراضی منطقه مطالعاتی نیز برابر با ۰/۸ در نظر گرفته شد (Sharp et al., 2018). پس از اجرای مدل نسبت تحویل رسوب InVEST، به منظور تحلیل حساسیت عوامل ورودی، سال ۱۳۹۳ به عنوان سال پایه در نظر گرفته شد. تحلیل حساسیت عوامل ورودی براساس روش تحلیل حساسیت OAT^۱ (Saltelli et al., 2011; Mouida & Alaa, 2011) و با محاسبه ضریب حساسیت نسبی^۲ (Mostafazadeh et al., 2018) براساس رابطه ۲ صورت پذیرفت. در روش OAT، به عنوان یکی از روش‌های با محاسبه ساده و نیاز کم به داده، هر بار فقط یک متغیر ورودی تغییر داده می‌شود و اثر آن بر خروجی مدل بررسی می‌گردد، در حالی که سایر متغیرها ثابت نگه داشته می‌شوند. با وجود محدودیت در بررسی تعامل متغیرها، این روش قادر به شناسایی حساس‌ترین عوامل منفرد است. لذا رویکرد حاضر به عنوان یک گام اولیه در ارزیابی حساسیت مدل SDR به کار گرفته شد.

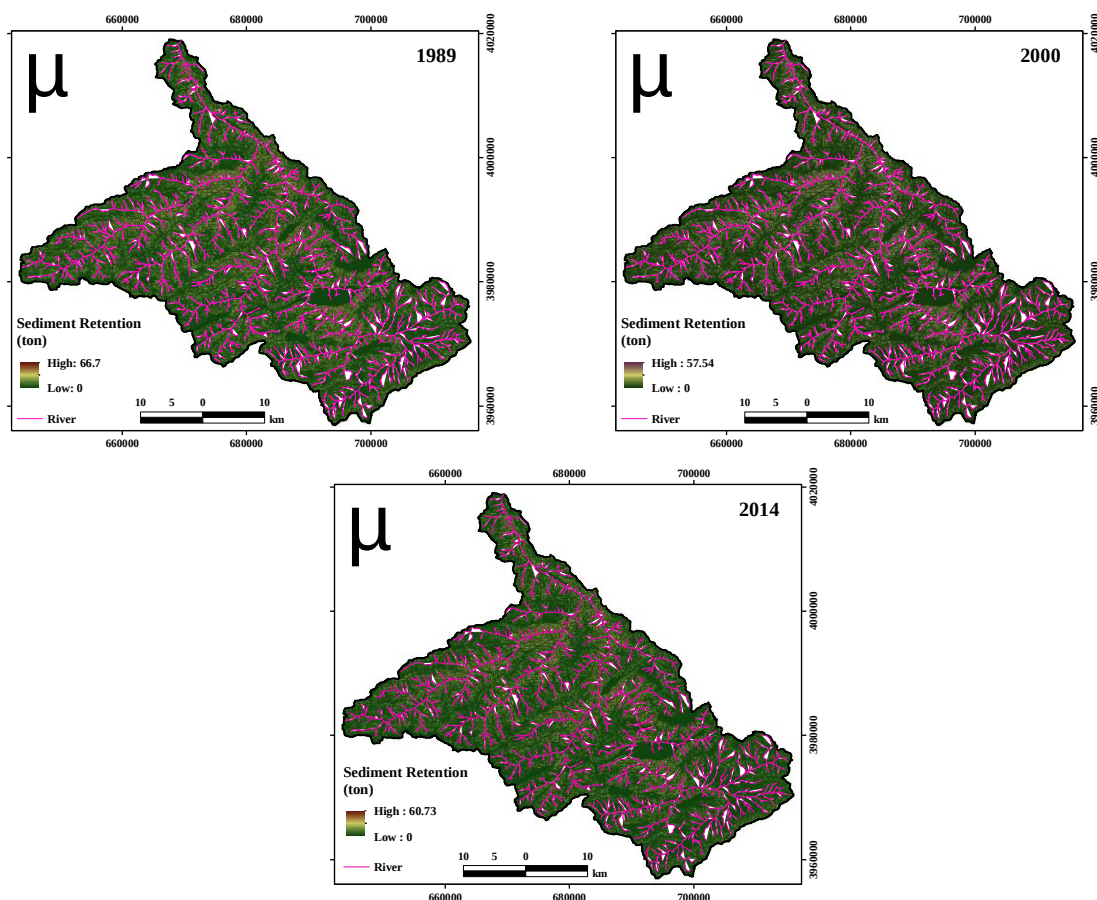
$$S_r = \frac{O_2 - O_1}{P_2 - P_1} \left(\frac{P}{O} \right) \quad (2)$$

در این رابطه، S_r ضریب حساسیت نسبی، O میانگین مقادیر خروجی مدل و P میانگین مقادیر ورودی مدل هستند. لازم به توضیح است که P_1 و P_2 نشان‌دهنده مقادیر اولیه و تغییر یافته متغیر ورودی مدل هستند. O_1 و O_2 متناظر با میانگین خروجی مدل در همان شرایط هستند. ضریب حساسیت نسبی نیز نشان می‌دهد که چه میزان تغییر در خروجی‌ها به تغییر در ورودی‌ها نسبت داده می‌شود.

نتایج

اکوسیستمی InVEST در شکل ۲ نشان داده شده است.

نتایج نقشه‌های تهیه شده نگهداشت رسوب آبخیز تالار طی سال‌های مطالعاتی با استفاده از مدل خدمات



شکل ۲- الگوی مکانی و زمانی نگهداشت رسوب در سال‌های مطالعاتی در آبخیز تالار

Figure 2- Temporal and spatial patterns of sediment retention during the study years in the Talar Watershed

روند می‌تواند ناشی از تغییرات کاربری اراضی، کاهش پوشش گیاهی، افزایش فرسایش‌پذیری خاک یا تغییر در الگوهای بارندگی باشد. اگرچه الگوی مکانی نگهداشت رسوب نسبتاً ثابت مانده، اما افت در مقادیر مطلق آن ممکن است بیان‌گر کاهش عملکرد اکوسیستم در برابر فرآیندهای فرسایشی و انتقال رسوب باشد که ضرورت بازنگری در اقدامات مدیریتی حوضه را برجسته می‌سازد. مقادیر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب طی سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ در انواع کاربری‌های اراضی در جدول ۲ ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات ارائه‌شده در شکل ۲، الگوی مکانی تغییرات نگهداشت رسوب در حوزه آبخیز تالار طی دوره مطالعه تقریباً مشابه بوده است. با این حال، در بازه زمانی ۲۵ ساله پژوهش، دامنه عددی مقادیر نگهداشت رسوب روندی کاهشی نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که مقدار حداکثر نگهداشت رسوب در سال‌های آغازین و پایانی دوره مطالعه به‌ترتیب برابر با ۶۶/۶۷ و ۶۰/۷۳ تن در حوزه آبخیز تالار برآورد شده است. کاهش مقدار حداکثر نگهداشت رسوب طی دوره ۲۵ ساله، نشان‌دهنده تضعیف تدریجی توان طبیعی حوزه آبخیز تالار در حفظ و ذخیره رسوبات است. این

جدول ۲- مقادیر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب در انواع کاربری‌های اراضی طی سال‌های مطالعاتی در آبخیز تالار

Table 2- Soil loss, sediment retention, and sediment yield values across land use types during the study years in the Talar watershed

کاربری اراضی	هدررفت خاک (تن)			نگهداشت رسوب (تن)			تولید رسوب (تن)		
	2014	2000	1989	2014	2000	1989	2014	2000	1989
کشاورزی دیم	20712	13588	3816	20520	10116	2467	1464	1039	374
جنگل	21758	27116	38509	284720	291661	537339	1034	1404	3312
کشاورزی آبی	10470	10503	8669	14828	12971	13756	664	670	832
باغ	4079	1481	1080	3676	1049	1046	277	82	84
مرتع	580135	659262	836973	415978	437439	733329	52815	59838	108240
منطقه مسکونی	15528	8601	7120	17866	8959	9690	1172	647	801

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، می‌توان گفت که نوع کاربری اراضی تأثیر قابل‌توجهی بر فرآیندهای فرسایش خاک، نگهداشت و تولید رسوب در حوزه آبخیز تالار دارد. در این میان، کاربری‌های دارای پوشش گیاهی متراکم مانند مرتع و جنگل عملکرد مناسبی در کاهش هدررفت خاک و افزایش نگهداشت رسوب از خود نشان داده‌اند. در مقابل، کاربری‌هایی با پوشش گیاهی ضعیف‌تر یا مداخلات انسانی شدیدتر، مانند مناطق مسکونی و برخی اراضی کشاورزی، مستعد فرسایش بیش‌تر و تولید رسوب بالاتر بوده‌اند. لازم به توضیح است که مقادیر نگهداشت رسوب در این مطالعه و مطابق با مدل InVEST نسبت به وضعیت بایر خاک سنجیده شده است؛ به این معنا که ظرفیت طبیعی اکوسیستم‌ها در حفظ رسوبات در مقایسه با حالتی که خاک فاقد پوشش گیاهی باشد، ارزیابی شده است. علاوه بر این، مساحت هر کاربری نقش تعیین‌کننده‌ای در مقدار مطلق هدررفت و نگهداشت رسوب دارد؛ حتی اگر یک پوشش گیاهی ظرفیت نسبی بالایی داشته باشد، وسعت محدود آن توان محدودی در کاهش رسوب دارد. به همین دلیل، اراضی مرتعی حوزه آبخیز مطالعاتی بیشترین نگهداشت رسوب را نشان می‌دهند و به دلیل وسعت قابل توجه خود، سهم قابل توجهی در کاهش انتقال رسوب به شبکه آبراهه‌ها دارند. نتایج تحلیل حساسیت مدل نسبت تحویل رسوب InVEST نسبت به تغییرات عوامل ورودی شامل فرسایندهایی

باران، فرسایش‌پذیری خاک، مدیریت زراعی و مدیریت اراضی در آبخیز تالار در جدول ۳ نشان داده شده است. در تحلیل حساسیت، تغییرات مثبت و منفی هر متغیر به‌صورت متقارن اعمال شده است تا اثرات افزایش و کاهش پارامتر بر خروجی‌های مدل به‌طور همزمان و قابل مقایسه بررسی شود. تغییر مثبت نشان‌دهنده افزایش مقدار متغیر نسبت به مقدار پایه و تغییر منفی نشان‌دهنده کاهش آن است. این رویکرد امکان شناسایی حساس‌ترین پارامترها و ارزیابی پایداری نتایج مدل را فراهم می‌کند و اطمینان می‌دهد که دامنه تغییرات مورد استفاده خارج از محدوده طبیعی و واقع‌بینانه پارامترها نباشد.

براساس یافته‌های پژوهش حاضر و ارائه شده در جدول ۳ در خصوص تحلیل حساسیت مدل نسبت تحویل رسوب نسبت به تغییرات عوامل ورودی در آبخیز تالار می‌توان اظهار داشت که این مدل نسبت به برخی پارامترهای طبیعی، مانند بارندگی و اتصال رسوبی، حساسیت بالایی نشان می‌دهد. به‌ویژه، پارامتر K که به اتصال رسوبی مرتبط است، نقش مهمی در تعیین میزان رسوب تحویلی ایفا می‌کند. از سوی دیگر، عوامل مدیریتی مانند نوع مدیریت اراضی و شیوه‌های زراعی، اگرچه دارای اثر هستند، اما تأثیر کمتری بر نتایج مدل دارند. این موضوع بر اهمیت توجه به شرایط طبیعی حاکم بر حوزه آبخیز در کنار مداخلات مدیریتی در برنامه‌ریزی برای کنترل فرسایش و تحویل رسوب

تأکید دارد. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که موفقیت در مدیریت تحویل رسوب مستلزم تمرکز هم‌زمان بر عوامل طبیعی مؤثر و به‌ویژه تقویت مداخلات مدیریتی مکمل در سطح حوزه آبخیز است.

جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت مدل نسبت تحویل رسوب نسبت به تغییرات عوامل ورودی در آبخیز تالار
Table 3- Sensitivity analysis results of the sediment delivery ratio model to input factor variations in the Talar Watershed

ضریب حساسیت نسبی			مقدار تغییر (درصد)	عامل متغیر
تولید رسوب	نگهداشت رسوب	هدررفت خاک		
0.999	0.999	0.999	14.44%	فرساینده‌گی باران
0.999	0.999	0.999	-14.44%	
1.379	0.682	0	12.44%	پارامتر K
2.203	1.344	0.341	-12.44%	
0.284	0.021	0.169	4.69%	مدیریت زراعی
0.273	0.02	0.163	-4.69%	
0.167	0.012	0.167	1.41%	مدیریت اراضی
0.165	0.012	0.165	-1.41%	

بحث

پویایی زمانی و مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب طی دوره ۲۵ ساله

تحلیل تغییرات زمانی نگهداشت رسوب، هدررفت خاک و تولید رسوب نقش کلیدی در فهم روندهای فرآیندهای هیدرولوژیکی و بهینه‌سازی راهکارهای کاهش فرسایش و حفظ کیفیت منابع آب دارد. در همین راستا و براساس یافته‌های پژوهش مندرج در شکل ۱ و جدول ۲، مقدار هدررفت خاک از ۸۹۶۵۳۵ به ۷۵۸۹۸۱ تن (معادل ۱۵ درصد)، نگهداشت رسوب از ۱/۲۹۷ به ۰/۷۵۷ میلیون تن (۴۱/۶ درصد) و تولید رسوب از ۱۱۳/۶۴۳ به ۵۷/۴۲۶ تن (۴۹/۴ درصد) طی دوره ۲۵ ساله پژوهش در آبخیز تالار کاهش یافته است. کاهش مقدار عامل فرساینده‌گی باران به میزان ۲۸/۸ درصد طی دوره پژوهش از مهمترین دلایل کاهش متغیرهای هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب در منطقه مطالعاتی است. در همین رابطه Rojan و همکاران (۲۰۲۰) اظهار نمودند که بودجه رسوب عمدتاً به رواناب بستگی دارد که معمولاً از طریق بارندگی کنترل می‌شود و لذا با نتایج تحقیق حاضر هم راستا است. در خصوص خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب در آبخیز تالار بایستی اشاره شود که نقش کاربری اراضی گذشته و فعلی در کاهش مقدار تولید رسوب نسبت به شرایط بایر خاک به اندازه ۱/۲۹۷ و

۰/۷۵۷ میلیون تن به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ بوده است. به‌عبارت دیگر، در صورت بایر بودن خاک در آبخیز مطالعاتی مقادیر ارائه شده فوق به مقدار تولید رسوب افزوده می‌شد. اگرچه مقادیر نگهداشت رسوب در سال‌های مورد پژوهش قابلیت مقایسه با یکدیگر را دارند، سرشت نگهداشت رسوب نیز در مقایسه با شرایط بایر خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد که به‌عنوان یک سود و خدمت هیدرولوژیک اکوسیستم برای آبخیزنشینان مطرح است. علاوه بر این، در صورت عدم وجود کاربری اراضی مناسب و در نتیجه نگهداشت رسوب اندک و تولید رسوب زیاد می‌توان به تأثیر آن بر کیفیت آب در منطقه مطالعاتی نیز اشاره داشت. لازم به توضیح است که کاهش هم‌زمان تولید و نگهداشت رسوب می‌تواند نشانه‌ای از کاهش کلی پویایی رسوبی حوضه باشد که در کوتاه‌مدت مطلوب به‌نظر می‌رسد، اما نیازمند پایش دقیق‌تر در بلندمدت است؛ چراکه افت بیش از حد در تولید رسوب می‌تواند ناشی از تخریب منابع خاکی یا از دست رفتن خاک‌های سطحی نیز باشد؛ بنابراین، تحلیل روندهای زمانی باید هم‌زمان با بررسی کیفیت خاک و پایداری اکوسیستم انجام گیرد. براساس نتایج مدل‌سازی نسبت تحویل رسوب با مدل InVEST برای کاربری‌های اراضی مختلف و ارائه شده در جدول ۲ می‌توان گفت که کاربری‌های باغ و مرتع به‌ترتیب کمینه و بیشینه مقدار کل هدررفت خاک،

نگهداشت رسوب و تولید رسوب را در آبخیز تالار دارند. در همین ارتباط، کاربری‌های مرتع (۵۸۰۱۳۵ تن)، جنگل، کشاورزی دیم، منطقه مسکونی، کشاورزی آبی و باغ (۴۰۷۹ تن) در رتبه‌های اول تا ششم از نظر مقدار کل هدررفت خاک در آبخیز تالار قرار گرفتند. بیشینه و کمینه مقدار نگهداشت رسوب نیز در کاربری‌های مرتع و باغ با مقادیر به‌ترتیب ۴۱۵۹۷۸ و ۳۶۷۶ تن محاسبه شد. جنگل، کشاورزی آبی، منطقه مسکونی، کشاورزی دیم نیز رتبه‌های دوم تا پنجم مقدار نگهداشت رسوب را در آبخیز تالار به خود اختصاص دادند. مقدار تولید رسوب در کاربری‌های اراضی مختلف نیز حاکی از تولید ۱۴۶۴، ۱۰۳۴، ۶۶۴، ۲۷۷، ۵۲۸۱۵ و ۱۱۷۲ تن رسوب به‌ترتیب در کاربری‌های کشاورزی دیم، جنگل، کشاورزی آبی، باغ، مرتع و منطقه مسکونی است. بررسی بیشتر نتایج مدل‌سازی هدررفت خاک در آبخیز تالار نشان می‌دهد که کاربری اراضی جنگل با ۰/۳۹ تن در هکتار کمینه هدررفت خاک در واحد سطح را دارد. این مقدار برای کاربری‌های مرتع و کشاورزی دیم برابر با ۵/۲۸ و ۴/۵۵ به‌دست آمد. مقدار تولید رسوب ویژه (تولید رسوب در واحد سطح) در کاربری‌های مرتع و جنگل برابر با ۰/۴۹ و ۰/۰۱ تن در هکتار به‌عنوان بیشینه و کمینه تولید رسوب در واحد سطح محاسبه شد. در همین راستا، Ouallali و همکاران (۲۰۲۰) نیز در مطالعه خود در کشور مراکش به پایین بودن هدررفت خاک و تولید رسوب در کاربری‌های با پوشش گیاهی غنی اشاره نمودند. Ahmadi Mirghaed و Sour (۲۰۲۳) نیز بر تولید حداقل رسوب در کاربری اراضی جنگلی با میزان ۰/۹ تن بر هکتار در سال در حوزه آبخیز شور استان خوزستان اشاره نمودند. تفاوت در تراکم پوشش گیاهی جنگلی مناطق مطالعاتی را می‌توان از جمله دلایل تفاوت در مقدار تولید رسوب برشمرد. در خصوص میزان نگهداشت رسوب نیز بایستی اذعان داشت که منطقه مسکونی و باغ به‌ترتیب بیشینه و کمینه مقدار نگهداشت رسوب ویژه در منطقه مورد پژوهش را دارند. از منظر مدیریتی، نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که

افزایش پوشش گیاهی پایدار، به‌ویژه در کاربری‌های شیب‌دار، و مدیریت کاربری‌های انسانی مانند مناطق مسکونی و کشاورزی، می‌تواند به‌طور مؤثری از میزان فرسایش و انتقال رسوب بکاهد. همچنین، اولویت‌بندی کاربری‌ها بر اساس شاخص‌های رسوب‌زایی می‌تواند راهگشای تصمیم‌سازی‌های مبتنی بر خدمات اکوسیستمی در حوزه آبخیز تالار باشد.

تحلیل حساسیت عوامل ورودی مدل نسبت تحویل رسوب InVEST در دوره ۲۵ ساله

تحلیل همزمان یافته‌های مدل‌سازی و تحلیل حساسیت در پژوهش حاضر (جدول ۳) نشان داد که عامل فرساینده‌گی باران به‌عنوان کلیدی‌ترین متغیر ورودی مدل InVEST، نقش غالبی در تعیین رفتار هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب طی دوره مورد پژوهش (۱۳۹۳-۱۳۶۸) در آبخیز تالار دارد. Lafien و Moldenhauer (۲۰۰۳) و Zabihi و همکاران (۲۰۱۵) نیز از عامل فرساینده‌گی باران به‌عنوان یک عامل مهم و مؤثر به‌سبب تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد و همچنین نقش آن به‌عنوان یکی از ورودی‌های مهم و مؤثر در سامانه آبخیز یاد کردند. در این راستا، مقدار تأثیر عامل فرساینده‌گی باران بر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب طی دوره ۲۵ ساله پژوهش در آبخیز تالار به‌ترتیب برابر با ۴۷/۵، ۴۰/۷ و ۴۸/۲ درصد است. تأثیر بیش از ۴۷ درصدی این عامل بر هدررفت خاک، و بیش از ۴۰ درصدی آن بر نگهداشت رسوب، نه‌تنها بر اهمیت آن در معادلات فرسایش خاک تأکید می‌کند، بلکه نشان‌دهنده‌ی پاسخ‌پذیری بالای سامانه هیدرولوژیکی منطقه نسبت به تغییرات الگو و شدت بارندگی طی بازه ۲۵ ساله مورد مطالعه است. Guesri و همکاران (۲۰۲۰) نیز به تأثیر ۶۸ درصدی عامل فرساینده‌گی باران بر تولید رسوب در آبخیز Wadi K'sob در شمال‌شرقی کشور الجزایر دست یافتند. از سوی دیگر، ضریب حساسیت نسبی ۰/۹۹ برای عامل فرساینده‌گی باران در برآورد هدررفت خاک نشان می‌دهد که

کوچک‌ترین تغییرات در این عامل می‌تواند منجر به تغییرات چشمگیری در خروجی مدل شود. این نتیجه با نتایج گزارش شده توسط Hamel و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد و ضرورت دقت بالا در برآورد این پارامتر در سناریوهای مدیریتی آینده را برجسته می‌سازد. با وجود این که عامل فرساینده‌گی باران یک متغیر اقلیمی و غیرقابل مدیریت است، یافته‌ها نشان داد که عامل فرساینده‌گی باران بیشترین سهم را در تغییرات هدررفت خاک و تولید رسوب حوزه آبخیز مطالعاتی داشته است. این نتیجه بیانگر نقش بارندگی‌های شدید در تشدید فرآیندهای هیدرولوژیک و حساسیت بالای حوزه نسبت به تغییرات اقلیمی است. با این حال، واکنش کاربری‌ها و پوشش‌های مختلف به این عامل یکسان نبوده است؛ به‌طوری که جنگل‌ها و مراتع به‌واسطه‌ی پوشش مترکم توان بیش‌تر در کاهش اثر بارش و افزایش نگهداشت رسوب داشته‌اند، در حالی که اراضی کشاورزی دیم بیشترین سهم در تولید رسوب را به خود اختصاص داده‌اند. این امر نشان می‌دهد که اگرچه عامل اقلیمی و نسبتاً خارج از کنترل مدیریتی است، اما با بهبود پوشش گیاهی و مدیریت کاربری اراضی می‌توان اثرات آن را به‌طور مؤثر تعدیل کرد.

پارامتر K اگرچه به‌طور مستقیم در تعیین هدررفت خاک نقش ندارد، اما بر اساس نتایج تحلیل حساسیت ارائه شده در جدول ۳، اثر کلیدی و غیرمستقیمی بر نگهداشت و تولید رسوب ایفا می‌کند. این اثر از طریق مکانیزم‌های تحویل رسوب، مانند نسبت تحویل رسوب و شاخص اتصال رسوبی که در چارچوب مدل InVEST به خروجی‌های نهایی مرتبط می‌شوند، آشکار می‌شود. به بیان دیگر، ارتباط پارامتر K با نسبت تحویل رسوب و شاخص اتصال رسوبی موجب تبیین دقیق‌تر فرایندهای انتقال رسوب شده است (Hamel et al., 2015) و به همین دلیل، این پارامتر تأثیر مستقیمی بر مقدار هدررفت خاک ندارد. بر اساس یافته‌های تحلیل حساسیت، پارامتر K با میانگین ضریب حساسیت نسبی به‌ترتیب ۱/۰۱ و ۱/۸ به‌عنوان حساس‌ترین عامل در محاسبه نگهداشت و تولید رسوب شناخته شده است.

تغییرات مثبت و منفی پارامتر K باعث افزایش یا کاهش مقادیر SDR و در نتیجه تغییر میزان رسوب تحویلی می‌شود، که نقش کلیدی آن در مدل‌سازی جریان رسوب را نشان می‌دهد. به‌طور مشخص، افزایش K شیب رابطه بین شاخص اتصال و SDR را تندتر کرده و میزان رسوب تحویلی را کاهش می‌دهد، در حالی که کاهش K اثر معکوس دارد و انتقال رسوب را افزایش می‌دهد. این حساسیت بالا با اهمیت اتصال هیدرولوژیک در تعیین مسیر جریان و انتقال رسوب در محیط‌های کوهستانی متناسب است و نشان می‌دهد که دقت برآورد پارامتر K برای ارزیابی صحیح ظرفیت نگهداشت رسوب ضروری است. از سوی دیگر، عوامل مدیریتی مانند نوع مدیریت اراضی اثر کمتری بر نتایج مدل دارند؛ چراکه عوامل طبیعی، به‌ویژه فرساینده‌گی باران و ویژگی‌های توپوگرافی، نقش غالب در تعیین مقدار رسوب تحویلی ایفا می‌کنند. بنابراین، حتی با اعمال مداخلات مدیریتی، اثر آن‌ها در مقایسه با پارامترهای طبیعی محدود است، اگرچه نقش آن‌ها در بهینه‌سازی عملکرد اکوسیستم قابل توجه است. به همین دلیل، برای مدیریت مؤثر رسوب، علاوه بر حفظ و بهبود پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریتی، توجه ویژه به پارامترهای طبیعی و مقادیر بومی شده K ضروری است. بررسی دقیق‌تر نتایج نشان می‌دهد که پس از عامل فرساینده‌گی باران، پارامتر K با وجود تأثیر زیاد بر نگهداشت و تولید رسوب، در تعیین هدررفت خاک در آبخیز تالار طی دوره پژوهش تأثیر قابل توجهی نداشته است. برای توضیح بیش‌تر می‌توان اشاره نمود که تغییرات خروجی مدل عمدتاً با تغییرات عامل فرساینده‌گی باران مرتبط است؛ به عبارت دیگر، سهم این عامل در تغییرات هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب نسبت به سایر عوامل ورودی مدل بیشتر است. با این حال، تحلیل حساسیت مشخص کرد که پارامتر K حساس‌ترین عامل در حوزه آبخیز تالار است، به‌گونه‌ای که تغییر یک واحد در این پارامتر، تأثیر بیش‌تر بر تغییرات خروجی مدل نسبت به تغییر مشابه در سایر عوامل دارد.

مدل‌سازی دقیق‌تر فرآیندهای رسوبی برجسته می‌سازد.

بهره‌گیری از مدلی کاربرپسند و کم‌نیاز به داده، دقت بالا در تحلیل حساسیت، و امکان شناسایی مناطق بحرانی را می‌توان از نقاط قوت این پژوهش برشمرد. محدودیت‌هایی مانند وابستگی به دقت نقشه‌های ورودی، نبود داده‌های محلی دقیق و ساده‌سازی در برخی روابط مدل، بر نتایج اثرگذار بوده‌اند. با این حال، دستاوردهای پژوهش قابلیت کاربرد در تدوین سیاست‌های حفاظت خاک، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و ارزیابی عملکرد اکوسیستم‌ها را دارد.

برای توسعه آینده پژوهش، پیشنهاد می‌شود تحلیل‌ها با داده‌های اقلیمی آینده‌نگر و داده‌های بلندمدت محلی تکمیل شود. همچنین، به کارگیری مدل‌های مکمل نظیر SWAT، WEPP، WaTEM/SEDEM، و RUSLE در کنار InVEST می‌تواند دقت برآوردها را در سناریوهای مختلف مدیریتی افزایش دهد. از منظر مدیریتی، اجرای اقداماتی چون بهبود الگوهای زراعی، توسعه و حفاظت پوشش جنگلی و مرتعی، احداث ترانس‌بندی و کنتور فاروینگ در اراضی کشاورزی، تثبیت بیولوژیک دامنه‌های حساس با استفاده از گیاهان بومی، کنترل چرای بی‌رویه دام در مراتع و احداث سازه‌های آبخیزداری کوچک‌مقیاس (بندهای سنگی-ملاتی، گابیونی و...) می‌تواند به کاهش فرسایش خاک و تحویل رسوب کمک کند. علاوه بر این، طراحی نظام‌های پایش خدمات هیدرولوژیک و اولویت‌بندی کاربری‌های حساس بر اساس شاخص‌های رسوب‌زایی، زمینه‌ساز مدیریت پایدار و آینده‌نگر آبخیز تالار خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، با هدف تحلیل پویایی زمانی و مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب در چارچوب خدمات اکوسیستمی، از مدل InVEST در آبخیز کوهستانی تالار در شمال ایران طی یک دوره ۲۵ ساله استفاده شد. هدف اصلی، بررسی روندهای تغییرات رسوبی، شناسایی عوامل مؤثر طبیعی و مدیریتی، و تحلیل حساسیت مدل نسبت به متغیرهای کلیدی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در سطح حوزه آبخیز است. نتایج نشان داد که میزان هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب در بازه زمانی مطالعه کاهش یافته است. این کاهش عمدتاً با کاهش عامل فرساینده‌گی باران مرتبط بوده و از تغییرات اقلیمی منطقه تأثیر پذیرفته است. در عین حال، کاربری‌های با پوشش گیاهی متراکم مانند مرتع و جنگل، بیشترین نقش را در حفظ رسوب و کاهش فرسایش ایفا کرده‌اند، در حالی که کاربری‌های انسانی مانند کشاورزی و مناطق مسکونی بیشترین سهم را در تولید رسوب داشته‌اند.

تحلیل حساسیت مدل InVEST با استفاده از روش OAT نشان داد که فرساینده‌گی باران به‌عنوان مهمترین عامل طبیعی، بیشترین تأثیر را بر متغیرهای رسوبی دارد. پارامتر K نیز به‌عنوان شاخص اتصال رسوبی، بر نگهداشت و تولید رسوب تأثیر قابل توجهی دارد، اما در برآورد مستقیم هدررفت خاک نقشی ندارد. این یافته‌ها اهمیت تلفیق داده‌های اقلیمی، خاک و مدیریتی را در

References

- Ahmadi Mirghaied, F., & Souri, B. (2023). Contribution of land use, soil properties and topographic features for providing of ecosystem services. *Ecological Engineering*, 189, 106898. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106898>

- Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A.R., & Mirkarimi, H. (2015). Modeling the Supply of Sediment Retention Ecosystem Service (Case study: Eastern Part of Gorgan-Rud Watershed). *Environmental Erosion Researches*, 5(3), 61-75. (In Persian)
- Ashtari, N., & Nosrati, K. (2024). Identification of erosion-prone areas in connection with ranges of peak ground acceleration using

- fuzzy logic and entropy Shannon models in the Talar Drainage Basin, Mazandaran province. *Quantitative Geomorphological Research*, 13(3), 178-202. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.465763.1509> (In Persian)
- Ayalew, D.A., Deumlich, D., Šarapatka, B., & Doktor, D. (2020). Quantifying the sensitivity of NDVI-based C factor estimation and potential soil erosion prediction using Spaceborne earth observation data. *Remote Sensing*, 12(7), 1136. <https://doi.org/10.3390/rs12071136>
- Bai, Y., Ochudho, T.O., & Yang, J. (2019). Impact of land use and climate change on water-related ecosystem services in Kentucky, USA. *Ecological Indicators*, 102, 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.079>
- Barzali, M., Azimi, M., Abdolhosseini, M. & Lotfi, A. (2022). The Assessment of Rangeland Ecosystem Services in sediment retention via InVEST Model (Atrak Watershed, Golestan Province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(1), 133-144. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.126019> (In Persian)
- Borselli, L., Cassi, P., & Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *Catena*, 75(3), 268-277. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006>
- Bouguerra, S., & Jebari, S. (2017). Identification and prioritization of sub-watersheds for land and water management using InVEST SDR model: Rmel River basin, Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(15), 348. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3104-z>
- Cerretelli, S., Poggio, L., Gimona, A., Yakob, G., Boke, S., Habte, M., Coull, M., Peressotti, A., & Black, H. (2018). Spatial assessment of land degradation through key ecosystem services: The role of globally available data. *Science of the Total Environment*, 628, 539-555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.085>
- Chauhan, A., Roy, S., & Kundu, A. (2024). Assessing sediment dynamics and retention services in the vulnerable mountain ecosystem of the Indian Himalayas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(10), 928. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13073-4>
- Chen, W., Chi, G., & Li, J. (2019). The spatial association of ecosystem services with land use and land cover change at the county level in China, 1995–2015. *Science of the Total Environment*, 669, 459-470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.139>
- Fryirs, K. (2013). (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(1), 30-46. <https://doi.org/10.1002/esp.3242>
- Gashaw, T., Bantider, A., Zeleke, G., Alamirew, T., Jemberu, W., Worqlul, A.W., Dile, Y., Bewket, W., Meshesha, D., Adem, A., & Addisu, S. (2021). Evaluating InVEST model for estimating soil loss and sediment export in data scarce regions of the Abbay (Upper Blue Nile) Basin: Implications for land managers. *Environmental Challenges*, 5, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100381>
- Ghorbanpour, D. (2004). *Study and estimation of the rainfall erosivity factor (R) in Mazandaran Province*. Master's thesis of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
- Guesri, M., Megnounif, A., & Ghenim, A.N. (2020). Rainfall erosivity and sediment yield in Northeast Algeria: K'sob watershed case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(7), 299. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5276-1>
- Gwal, S., Sena, D.R., Srivastava, P.K., & Srivastava, S.K. (2024). Identifying conservation priority areas of hydrological ecosystem service using hot and cold spot analysis at watershed scale. *Remote Sensing*, 16(18), 3409. <https://doi.org/10.3390/rs16183409>
- Haji, K., Khaledi Darvishan, A., & Mostafazadeh, R. (2024). Soil erosion and sediment sourcing in the Hyrcanian forests, Northern Iran: An integration approach of the G2loss model and sediment fingerprinting technique. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10(2), 1897-

1914. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01879-z>
- Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S., & Mueller, C. (2015). A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): Case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. *Science of the Total Environment*, 524, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.027>
- He, C., & James, L.A. (2021). Watershed science: Linking hydrological science with sustainable management of river basins. *Science China Earth Sciences*, 64(5), 677-690. <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9723-4>
- Hopkins, K. G., Noe, G. B., Franco, F., Pindilli, E. J., Gordon, S., Metes, M. J., Claggett, P.R., Gellis, A.C., Hupp, C.R., & Hogan, D. M. (2018). A method to quantify and value floodplain sediment and nutrient retention ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 220, 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.013>
- Juan-Diego, E., Mendoza, A., Arganis-Juárez, M. L., & Berezowsky-Verduzco, M. (2025). Alteration of Catchments and Rivers, and the Effect on Floods: An Overview of Processes and Restoration Actions. *Water*, 17(8), 1177. <https://doi.org/10.3390/w17081177>
- Kantharajan, G., Govindakrishnan, P.M., Singh, R.K., Natalia, E.C., Jones, S.K., Singh, A., Mohindra, V., Kumar, N., Rana, J.C., Jena, J.K., & Lal, K.K. (2022). Quantitative assessment of sediment delivery and retention in four watersheds in the Godavari River Basin, India, using InVEST model—an aquatic ecosystem services perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 30371-30384. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24013-5>
- Lafren, J.M., & Moldenhauer, W.C. (2003). *The USLE story* (Special Publication No. 1). World Association of Soil and Water Conservation (WASWC).
- Luo, M., Cai, J., Zeng, Z., Zheng, Y., & Lin, T. (2024). Development and practices of nature-based solutions in China. *Nature-Based Solutions*, 5, 100109. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100109>
- Marques, S. M., Campos, F.S., David, J., & Cabral, P. (2021). Modelling sediment retention services and soil erosion changes in Portugal: a spatio-temporal approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), 262. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040262>
- Mostafazadeh, R., Mirzaei, S., Esmali, A. and Zabihi, M. (2018). Sensitivity analysis of the flow hydrograph components due to changes in Clark's time-area model in Mohammad-Abad watershed, Gloestan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(1), 91-99. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.221333.667580> (In Persian)
- Mouida, A., & Alaa, N. (2011). Sensitivity analysis of TSEB model by one-factor-at-a-time in irrigated olive orchard. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 8(3), 369.
- Mperejekumana, P., Shen, L., Zhong, S., Muhirwa, F., Gaballah, M. S., & Nsigayehe, J. M. V. (2024). Integrating climate change adaptation into water-energy-food-environment nexus for sustainable development in East African Community. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140026. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140026>
- Namazi, M., Akbari, M., Memarian, H., Asadolahi, Z., & Parvian, N. (2025). Evaluating the soil retention ecosystem service using the InVEST model in Northeastern Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, <https://doi.org/10.22098/mmws.2025.17666.1612> (In Persian)
- Ouallali, A., Aassoumi, H., Moukhchane, M., Moumou, A., Houssni, M., Spalevic, V., & Keesstra, S. (2020). Sediment mobilization study on Cretaceous, Tertiary and Quaternary lithological formations of an external Rif catchment, Morocco. *Hydrological Sciences Journal*, 65(9), 1568-1582. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1755435>
- Pérez-Cutillas, P., Benabdelouahab, S., & Salhi, A. (2025). Mitigating Erosion and Enhancing Sediment Retention: A Modeling Approach to Sustainable Land Management. *Earth Systems and Environment*, 1-20.

- <https://doi.org/10.1007/s41748-025-00660-9>
- Rehman, A., Farooq, M., Lee, D. J., & Siddique, K. H. (2022). Sustainable agricultural practices for food security and ecosystem services. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(56), 84076-84095. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23635-z>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., & Yoder, D.C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington DC: V703.
- Roba, N.T., Kassa, A.K., Geleta, D.Y., & Harka, A.E. (2021). Streamflow and sediment yield estimation, and area prioritization for better conservation planning in the Dawe River watershed of the Wabi Shebelle River Basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08509>
- Rojan, E., Dłużewski, M., & Krzemień, K. (2020). Sediment budget of high mountain stream channels in an arid zone (High Atlas mountains, Morocco). *Catena*, 190, 104530. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104530>
- Rostami, N., & Rabbani, M. (2023). Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors (Case study: Golan watershed, Ilam). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 1-15. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.200473.8.1084> (In Persian)
- Sadat, M., Salehi, E., & Amiri, M.J. (2023). Quantitative Modeling of Spatiotemporal Changes in Soil Erosion and Retention Potential and Sediment Production (Case Study: Lahijan-Chabaksar and Astana-Kochsefhan Watersheds). *Journal of Environmental Studies*, 48(4), 577-596. <https://doi.org/10.22059/jes.2023.348202.1008357> (In Persian)
- Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S., & Campolongo, F. (2006). Sensitivity analysis practices: Strategies for model-based inference. *Reliability engineering & system safety*, 91(10-11), 1109-1125. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2005.11.014>
- Sayed, K., Nazimuddin, R., Syakir, M.I., Yusuff, S., Johar, R., & Yaseen, Z.M. (2025). Shifting paradigm in water resources management: Public willingness to participate in watershed management of Batu Kurau, Perak, Malaysia. *World Development Perspectives*, 39, 100694. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2025.100694>
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M., Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., & Douglass, J. (2018). *INVEST 3.5.0 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Solaimani, K., Shekarian, F., Abdoli, S. & Saberi, A. (2021). Prioritization of Talar watershed flood risk potential in GIS environment. *Journal of Ecohydrology*, 8(3), 749-762. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.324244.1509> (In Persian)
- Talebikhiavi, H., Zabihi, M., & Mostafazadeh, R. (2017). Effects of land-use management scenarios on soil erosion rate using GIS and USLE model in Yamchi dam watershed, Ardabil. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 21(2), 221-234. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.21.2.221>
- Teh, S.H. (2011). Soil erosion modeling using RUSLE and GIS on Cameron Highlands, Malaysia for hydropower development (Doctoral dissertation).
- Tiwari, P.C., & Joshi, B. (2012). Environmental changes and sustainable development of water resources in the Himalayan headwaters of India. *Water resources management*, 26(4), 883-907. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9825-y>
- Turner, B., Devisscher, T., Chabaneix, N., Woroniecki, S., Messier, C., & Seddon, N. (2022). The role of nature-based solutions in supporting social-ecological resilience for climate change adaptation. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 123-148. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-010017>

- Vahabzadeh, G. and Ahamdi, S. (2022). Evaluating the Effect of Climate on the Weathering Process of Rocks (Case Study: The Telar Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 249-263. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.70604.1064> (In Persian)
- Vigerstol, K.L., & Aukema, J.E. (2011). A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of environmental Management*, 92(10), 2403-2409. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.040>
- Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L.T.H., McInnes, J., & Roberts, A.M. (2012). Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology*, 138(1), 74-88. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.026>
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., & Innes, J. L. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, 27(5), 967-994. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*. No. 537, pp. 58.
- Xue, Z., Meng, X., & Liu, B. (2024). Spatiotemporal evolution and driving factors of ecosystem services in the upper Fenhe watershed, China. *Ecological Indicators*, 160, 111803. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111803>
- Zabihi, M. , Sadeghi, S.H. & Vafakhah, M. (2015). Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4), 442-457. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.103089> (In Persian)
- Zabihi, M., Moradi, H., Gholamalifard, M., Khaledi Darvishan, A., & Fürst, C. (2020). Landscape management through change processes monitoring in Iran. *Sustainability*, 12(5), 1753. <https://doi.org/10.3390/su12051753>
- Zabihi, M., Moradi, H., Khaledi Darvishan, A., and Gholamalifard, M. (2025). Spatiotemporal variations analysis of water yield ecosystem service in the Hyrcanian region of northern Iran using the InVEST model. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(3), 296-308. <https://doi.org/10.22098/mmws.2025.1767.1614> (In Persian)
- Zarandian, A., Mohammadyari, F., Mousazadeh, R., Ramezani Mehrian, M. & Badamfirooz, J. (2023). Evaluating the Role of Land Use in the Provision of Soil Retention Ecosystem Service (Case Study: Semnan Province). *Environment and Interdisciplinary Development*, 8(81), 107-119. <https://doi.org/10.22034/envj.2024.432019.1331> (In Persian)

Identifying and prioritizing barriers to sustainable community participation in watershed management (Case study: Kaki district, Bushehr province)

Ali Jafari ^{1*}, Parviz Bayat¹, Parsa Haghighi²

1. Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tehran, Iran

2. 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

* Corresponding author: a_j472000@yahoo.com

(Received: 29 August 2025

Revised: 27 September 2025

Accepted: 26 December 2025)

Extended Abstract

Introduction: Various factors contribute to public non-participation in watershed management projects. Understanding these inhibiting factors is a fundamental step toward fostering effective public involvement and achieving comprehensive watershed management goals. In this context, prioritizing the indicators and sub-indices that affect non-participation is essential for the cycle of participatory management and proper basin stewardship. Identifying and ranking these factors provides a pathway for implementing measures to remove obstacles to beneficiary participation, thereby encouraging maximum involvement from local residents in planning processes. This study, conducted from 2018 to 2021 in the Kaki watershed of Dashti, Bushehr province, aims to identify, classify, and prioritize these factors based on the perspectives of both watershed residents and experts.

Materials and methods: The research site is located in the Kaki watershed, part of the Kaki district of Dashti city in Bushehr province, southern Iran. After identifying and classifying the specific factors, measurement tools were prepared in the form of pairwise comparison and Likert-scale questionnaires; the validity of these questionnaires was confirmed by a panel of experts. Following the completion of the Analytical Hierarchy Process (AHP) questionnaires by 34 experts, the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) was used to prioritize the indicators. To prioritize the indicators and sub-indices affecting the lack of sustainable public participation from the perspective of the basin residents, a Likert-scale questionnaire was used. After confirming its validity and reliability, the survey was administered. The sampling unit was a rural household, and Cochran's formula was used to determine the sample size. Based on the total number of households in the villages (814 households), 261 questionnaires were completed by the heads of households.

Results and Discussion: The results of the hierarchical analysis from the experts' perspective showed that the sub-index of "lack of education for basin residents regarding the relevant projects and goals" had the highest relative priority with a mean rank of 4.98, while the sub-index of "delayed effectiveness of watershed management projects" had the lowest relative priority with a mean rank of 0.64. From the perspective of local communities, the sub-index of "ethnic and local differences" had the highest relative priority with a mean rank of 8.77, whereas the sub-index of "non-use of local promoter groups" had the lowest with a mean rank of 4.32.

Conclusions: In the Kaki watershed, the weights obtained from the Fuzzy AHP for expert opinions indicate that design-implementation, economic, social, and finally educational-promotional indicators, in that order, played the greatest role in the lack of public participation. The results of the Friedman test from the local communities' perspective differed slightly, ranking the indicators as social, economic, educational-promotional, and finally design-implementation. Based on these findings, it is recommended to prioritize training courses and classes aimed at increasing the knowledge of local communities about watershed management projects. Furthermore, since local trustees (e.g., elders, educated individuals, members of the Islamic Council, and village teachers) are highly trusted, these groups, along with non-governmental organizations (NGOs), could act as local promoters. They can advocate for project goals and help foster public participation. Additionally, creating conditions for the active involvement of watershed residents in various stages—such as decision-making, design, implementation, maintenance, and repair—is crucial. This could include developing new participatory frameworks for comprehensive watershed management. Providing employment opportunities for local residents in project implementation, for instance through contracts with village councils or by mandating the employment of local labor in contractor agreements, is also recommended.

Keywords: Friedman tests, Fuzzy hierarchical analysis, Watershed management plans, Comprehensive watershed management, Watershed residents' participation

Citation: Jafari, A., Bayat, P., & Haghighi, H. (2026). Identifying and prioritizing barriers to sustainable community participation in watershed management (Case study: Kaki district, Bushehr province). *Integrated Watershed Management*, 6(2), 64-78. doi= 10.22034/iwm.2025.2068857.1248

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی عوامل موثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری (منطقه

مورد مطالعه: بخش کاکي، استان بوشهر)

علی جعفری^{۱*}، پرویز بیات^۱، پارسا حقیقی^۲

۱. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

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

*نویسنده مسئول: a_j472000@yahoo.com

چکیده مبسوط

مقدمه: عوامل متعددی باعث عدم مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری می‌شوند که آگاهی از این عوامل در طرح‌های آبخیزداری، یکی از اصولی‌ترین گام در تحقق مشارکت موثر مردمی و دستیابی به اهداف مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است. در این راستا، اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردمی، گامی اصولی در چرخه مدیریت مردم‌نهاد آبخیزداری و مدیریت شایسته حوضه‌هاست، به طوری که شناخت عوامل و اولویت‌بندی‌های مربوطه راهگشای اتخاذ تدابیری در راستای حذف موانع مشارکتی ذینفعان و مشارکت حداکثری ساکنان حوضه در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جامع و کارآمد آبخیز در سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری و ادارات کل منابع طبیعی و آبخیزداری وابسته به آن در استان‌های مختلف کشور است. این مساله ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، ضامن موفقیت و اجرای موثرتر پروژه‌هاست. هدف از پژوهش حاضر که از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ در حوزه آبخیز کاکي شهرستان دشتی استان بوشهر اجرا شد، شناسایی، طبقه‌بندی و نیز اولویت‌بندی عوامل موثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری بر اساس دیدگاه آبخیزنشینان و کارشناسان است.

مواد و روش‌ها: محدوده محل پژوهش در حوزه آبخیز کاکي است که پس از تعیین عوامل موثر بر عدم مشارکت و طبقه‌بندی این عوامل، پرسشنامه‌های مقایسات زوجی و طیف لیکرت به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری تهیه و روایی پرسش‌نامه‌ها مبتنی بر نظرات خبرگان تأیید شد. پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های تحلیل سلسله‌مراتبی توسط ۳۴ کارشناس خبره، برای اولویت‌بندی شاخص‌ها، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. واحد نمونه، خانوار روستایی و به‌منظور محاسبه حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد. بر پایه تعداد خانوار موجود در این دهستان (۸۱۴ خانوار)، تعداد ۲۶۱ پرسشنامه از سرپرست خانوار تکمیل شد. از آزمون فریدمن برای تجزیه واریانس دوطرفه از طریق رتبه‌بندی و هم‌چنین مقایسه میانگین رتبه‌بندی گروه‌های مختلف با کاربرد نرم‌افزار SPSS به کار برده شد.

نتایج و بحث: نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد، از دیدگاه خبرگان، زیرشاخص "عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه" با میانگین رتبه ۸/۴۹ دارای بیشترین اولویت نسبی و زیرشاخص "دیر بازده بودن طرح‌های آبخیزداری" با میانگین رتبه ۴/۰۶ دارای کمترین اولویت نسبی در عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری هستند. بر این اساس، از منظر جوامع محلی، زیرشاخص "اختلافات قومی و محلی" با میانگین رتبه ۸/۷۷ دارای بیشترین اولویت نسبی و زیرشاخص "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی" با میانگین رتبه ۴/۳۲ دارای کمترین اولویت نسبی در عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز کاکي می‌باشند.

نتیجه‌گیری: در حوزه آبخیز کاکي استان بوشهر، نتایج نشان داد که به‌ترتیب شاخص‌های طراحی - اجرا، اقتصادی، اجتماعی و درنهایت آموزشی و ترویجی، بیش‌ترین نقش را در عدم شکل‌گیری مشارکت این جوامع در پروژه‌های آبخیزداری داشته‌اند. نتایج حاصل از رتبه‌بندی شاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم از دیدگاه جوامع محلی تا حدودی متفاوت نسبت به رتبه‌بندی کارشناسان خبره بوده و به‌ترتیب شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی، آموزشی و ترویجی، و درنهایت طراحی - اجرا در عدم شکل‌گیری مشارکت این جوامع در پروژه‌های آبخیزداری استان بوشهر در حوزه آبخیز کاکي داشته‌اند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود برگزاری دوره‌ها و کلاس‌های آموزشی با هدف افزایش اطلاعات و دانش جوامع محلی با پروژه‌های آبخیزداری در اولویت قرار گیرد. همچنین از آنجا که معتمدان محلی از جمله ریش‌سفیدان و بزرگان، افراد تحصیل‌کرده، اعضای شورای اسلامی و معلمان روستاها جزو معتمدترین افراد روستا هستند، این گروه‌ها در کنار سازمان‌های مردم‌نهاد (سمن‌ها) می‌توانند نقش مروج بومی برای اهالی اهالی منطقه را داشته و با ترویج اهداف پروژه‌ها، زمینه جلب مشارکت مردم در پروژه‌های مزبور را فراهم نمایند. به‌علاوه فراهم نمودن شرایطی جهت مشارکت فعال آبخیزنشینان در مراحل مختلف تصمیم‌گیری، طراحی - اجرا و نگهداری و ترمیم پروژه‌های آبخیزداری که از آن جمله می‌توان به تدوین شرح خدمات نوین مدیریت جامع‌های حوزه‌های آبخیز بر اساس مشارکت جوامع محلی و سایر ذینفعان اشاره کرد. فراهم نمودن شرایطی برای به‌کارگیری نیروی محلی و افراد روستا در اجرای پروژه‌ها و ایجاد نوعی اشتغال برای آن‌ها که از آن جمله می‌توان به عقد قراردادهای پیمانکاری با شورا یا اهالی روستا و یا اصلاح قراردادهای پیمانکاران و تنظیم و گنجاندن شرط به‌کارگیری از اهالی منطقه در اجرای پروژه‌ها اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: آزمون‌های فریدمن، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، طرح‌های آبخیزداری، مدیریت آبخیز، مشارکت آبخیزنشینان

استناد: جعفری، ع.، بیات، پ. و حقیقی، پ. (۱۴۰۵). بررسی عوامل موثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری (منطقه مورد مطالعه: بخش کاکي، استان بوشهر). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۶(۲)، ۷۸-۶۴.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

مشارکت ذینفعان در مراحل مختلف مطالعه، اجرا، پایش و ارزیابی و مرمت و نگهداشت از پروژه آبخیزداری می‌تواند سبب اجرای مؤثرتر، کاهش هزینه‌ها و به‌طور کلی موفقیت بیش‌تر پروژه شود. در بسیاری از این پروژه‌ها، مقاومت جامعه محلی و یا عدم مشارکت آن‌ها در پروژه‌های اجرایی، سبب کاهش کارایی این پروژه‌ها شده است (Eslami & Noor, 2022). در این میان، آبخیزداری به‌عنوان روشی جامع و مناسب در مدیریت پایدار منابع طبیعی در حوزه‌های آبخیز بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات و تجربیات چندساله اخیر نشان داده است که اجرای طرح‌های آبخیزداری بدون مشارکت و همراهی پایدار مردم به‌عنوان سرمایه‌های اجتماعی موفق نبوده و لذا، رهیافت مشارکتی در اجرای طرح‌های آبخیزداری به‌عنوان یک راهکار پایدار از دهه ۷۰ برای توسعه فعالیت‌های آبخیزداری مدنظر قرار گرفته است (Noor et al., 2022). موضوع مشارکت مردمی در کنفرانس ریودوژانیرو برزیل در سال ۱۹۹۲ مورد تأکید قرار گرفت و در بند ۲۴ فصل ۲۳ این کنفرانس یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار، مشارکت مردم در فرایند تصمیم‌گیری برای برنامه‌های محیط و توسعه عنوان شده است (Bagherian et al., 2017). با این حال، عدم توجه به مشارکت جوامع محلی در اجرای بسیاری از پروژه‌های منابع طبیعی و آبخیزداری کشور سبب انزوای ذینفعان و حافظان اصلی منابع طبیعی و عدم برخورداری از پتانسیل‌های فکری، اجرایی و دانش بومی آن‌ها طی مراحل مختلف مطالعاتی و اجرایی طرح شده است (Mosaffaie & Salehpour Jam, 2021). این مسئله همچنین، کاهش انگیزه آتی جوامع روستایی را در مراحل پس از اجرای طرح، در خصوص حفاظت از پروژه‌ها به دنبال داشته است. تجربه کشورهای متعدد حاکی از آن است که فعالیت دولت‌ها به‌تنهایی کارآمدی لازم را نداشته و لذا، تدوین یک برنامه راهبردی فراگیر و سیستمی ضروری

است (Mohammadi Golrang et al., 2016). مطالعات اخیر در بسیاری از کشورها مبین تأثیر عوامل زیادی در تعیین سطح مشارکت مردم بوده است. بعضی از محققین بر تأثیر ویژگی‌های فردی بر میزان مشارکت افراد اشاره کردند (Atmis et al., 2007). برخی دیگر از پژوهش‌ها نیز بر نقش سطح اطلاعات و آگاهی و اثرگذاری آن در مشارکت سخن گفته‌اند (Haidari & Wright, 2001). این محققین معتقدند که بالا بودن سطح اطلاعات و آگاهی فرد از اهداف طرح، باعث افزایش مشارکت آن‌ها در طرح می‌شود. از طرفی، برخی از پژوهش‌ها به تبع معتقدند که رابطه مشارکت مانند رابطه تبادل کالا بین دو نفر است. بدین مفهوم که فرد مشارکت‌کننده در ازای مشارکت در یک طرح انتظار برآورد نیازهایش و دریافت حقوق دارد. درنهایت، نگرش و سابقه ذهنی نیز از عوامل مؤثر در مشارکت افراد در طرح‌ها هستند (Bagherian et al., 2009). در این راستا، شناسایی عوامل بازدارنده مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری و تعیین اهمیت آن‌ها در یک سامانه آبخیز، اولین گام در تحقق مشارکت مؤثر مردمی دستیابی به اهداف مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز است (Mosaffaie & Salehpour Jam, 2021).

Hematzadeh و Khalighi (۲۰۰۶) اقدام به بررسی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری در حوضه معرف کچیک واقع در استان گلستان کردند. نتایج بررسی ایشان نشان داد که ۸۷/۷ درصد بهره‌برداران، مشارکتی در طرح‌های آبخیزداری نداشته‌اند، از این تعداد ۳۹ درصد عدم اطلاع از پروژه، ۳۵ درصد نداشتن سرمایه و ۲۶ درصد نیز عدم آگاهی از محاسن طرح‌ها را عامل عدم مشارکت خود اعلام کرده‌اند. Garcia و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی نگرش و رفتار ساکنین مناطق سواحل مدیترانه به حفاظت از منابع آب و اثر خصوصیات فردی و محیطی بر آن پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که بین خصوصیات فردی و وابسته به محیط ارتباط معنی‌داری با نوع نگرش آن‌ها به حفاظت از منابع آب وجود ندارد.

Mosaffaie و همکاران (۲۰۲۲) در تحلیل موانع مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری حوضه نینه رود استان قزوین نیز به این نتیجه رسیدند مهمترین اقداماتی که می توان در راستای رفع موانع مشارکت جوامع محلی در طرح های آبخیزداری به انجام رساند، شناسایی، دسته بندی و رتبه بندی عواملی است که باعث ضعف مشارکت آن ها در این طرح ها می شود. Bagherian و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی در حوزه آبخیز حبله رود در استان تهران نشان دادند که بین عوامل رضایت از برنامه های قبلی، میزان آگاهی از برنامه ها، درآمد، نگرش مثبت به برنامه ها و مشارکت بهره برداران در طرح های آبخیزداری رابطه معنی داری وجود دارد. Bagdi و Kurothe (2014) در پژوهشی اقدام به بررسی مشارکت مردم و جوامع محلی در برنامه های مدیریت آبخیز در منطقه ویداربها واقع در ایالت مازاراشترا هند پرداختند. یافته های این مطالعه نشان داد میزان مشارکت مردم در مراحل برنامه ریزی و اجرای برنامه حوضه در حد متوسط بود؛ درحالی که سطح بالایی از مشارکت در مراحل تعمیر و نگهداری به نمایش گذاشتند. Ashoori و همکاران (۲۰۱۶) نگرش کشاورزان برنجکار به برنامه های حفاظت آب و خاک در بخشی از شمال ایران را مورد توجه قرار دادند. نتایج نشان داد، ۴۴/۸ درصد از پاسخ دهندگان نگرش خوب داشته اند. همچنین، نتایج ایشان دلالت بر رابطه مثبت و معنی دار بین درآمد کشاورزان و نگرش آن ها داشت. بررسی هم زمان انتظارات کارشناسان و ساکنین مناطق روستایی، می تواند در شناسایی اولویت ها و اطلاع هر چه بهتر از موانع مشارکت در طرح های آبخیزداری کمک نماید. بیش ترین اختلاف میزان اهمیت عوامل از منظر دو گروه کارشناسان و جوامع محلی، مربوط به زیرشاخص های "نادیده گرفتن منافع مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم" و "عدم مشورت با جوامع محلی (شورای روستا) در نیازسنجی پروژه" است (Noor et al., 2022). در تحلیل موانع مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری حوضه آبخیز نینه رود استان قزوین، دو گروه کارشناسان و جوامع محلی سه

زیرشاخص عدم طراحی طرح های چندمنظوره، تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز و عدم به کارگیری نیروی محلی در اجرای طرح ها (اشتغال زایی)، از جمله مهم ترین زیرشاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردم در طرح های آبخیزداری هستند (Mosaffaie & Salehpour Jam, 2021). سه زیرشاخص شامل عدم طراحی طرح های چندمنظوره، تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز و عدم به کارگیری نیروی محلی در اجرای طرح ها (اشتغال زایی)، از مهم ترین زیرشاخص های مؤثر بر ضعف مشارکت مردم در طرح های آبخیزداری هستند. نتایج حاکی از آن است که تسلط فرآیند از بالا به پایین و فقدان انگیزه ها و مزایای اقتصادی، مهم ترین عوامل عدم مشارکت مردم در طرح ها و پروژه ها است (Saleh Pourjam et al., 2019). Fathi و همکاران (۲۰۲۵) مشارکت جوامع محلی در حفاظت از منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام را به طور قابل توجهی تحت تأثیر باورهای هنجاری، هنجارهای قانونی و هنجارهای مشارکتی اعلام کردند و تقویت این عوامل، همراه با افزایش آگاهی و بهبود حمایت دولت از برنامه های آموزشی و فرهنگی، می تواند منجر به رفتار مسئولانه تر و افزایش مشارکت در تلاش های حفاظتی شود. Mosaffaie و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه شناسایی، طبقه بندی و اولویت بندی دیدگاه های مردم محلی و کارشناسان در حوزه آبخیز نینه رود استان قزوین اعلام کردند دیدگاه هر دو گروه، شاخص های مدیریتی و اقتصادی نسبت به شاخص های اجتماعی و آموزشی نقش بیشتری در جلوگیری از مشارکت مردم دارند. همچنین چندین مانع کلیدی از جمله عدم طراحی چندمنظوره پروژه، تصمیم گیری متمرکز و اشتغال ناکافی محلی در اجرای پروژه را شناسایی کردند.

اهمیت توجه به این عوامل به ویژه در جوامع محلی به این دلیل است که توسعه پایدار در هر منطقه به میزان پایبندی مردم به قوانین و مقررات حفاظت از منابع طبیعی از جمله منابع آبی، بستگی دارد. یافته ها نشان می دهد که هرچه هنجارها، باورها و ارزش های

جعفری و همکاران

آبخیزنشینان در زمینه حفاظت از منابع آب تقویت شود، رفتار مشارکتی آنها نیز ارتقا یافته و مسئولیت‌پذیری بیشتری در قبال حفظ این منابع از خود نشان خواهند داد.

بررسی و جمع‌بندی پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده تنوع عوامل مؤثر بر مشارکت جوامع محلی در پروژه‌های آبخیزداری دارد. دلیل این امر نیز تنوع شرایط محیطی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی و پیچیدگی روابط آن‌ها با یکدیگر است. پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که در هر آبخیز، به‌منظور اتخاذ تدابیری مفید و اثرگذار در رفع موانع مشارکتی مردم، لازم است تا نسبت به شناسایی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت آن‌ها مطالعه دقیق و علمی صورت گیرد. از سوی دیگر، بررسی هم‌زمان انتظارات کارشناسان و ساکنین مناطق روستایی، می‌تواند در شناسایی اولویت‌ها و اطلاع هرچه بهتر از موانع مشارکت در طرح‌های آبخیزداری کمک نماید، این مسئله ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، ضامن موفقیت و اجرای مؤثرتر طرح‌ها خواهد بود. برای این منظور، پژوهش حاضر با هدف اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری از دیدگاه کارشناسان جوامع محلی در حوزه آبخیز کاکي شهرستان دشتی در استان بوشهر، طرح‌ریزی و اجرا شده است. به طور کلی، اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌ها و طرح‌های آبخیزداری به شدت متکی بر دستیابی به حداکثر مشارکت ساکنان محلی در مراحل اجرا و نگهداری است. بنابراین شناسایی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت روستاییان در طرح‌های آبخیزداری در این موفقیت بسیار ضروری و کارساز خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از ۲۸/۳۹ تا ۲۸/۴۱ درجه عرض شمالی و ۵۱/۶۹ تا ۵۱/۶۶ درجه طول شرقی قرار دارد. مساحت این محدوده ۲۷۳۰۰ هکتار می‌باشد که جزء بخش کاکي شهرستان دشتی در استان بوشهر و در

جنوب کشور ایران قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت قرارگیری این محدوده مطالعاتی و سازه‌های آبخیزداری موجود در این منطقه نشان داده شده است. بر اساس آمارنامه سال ۱۳۹۵، این دهستان شامل ۱۳ آبادی با جمعیت ۲۸۷۴ نفر و ۸۱۴ خانوار است.

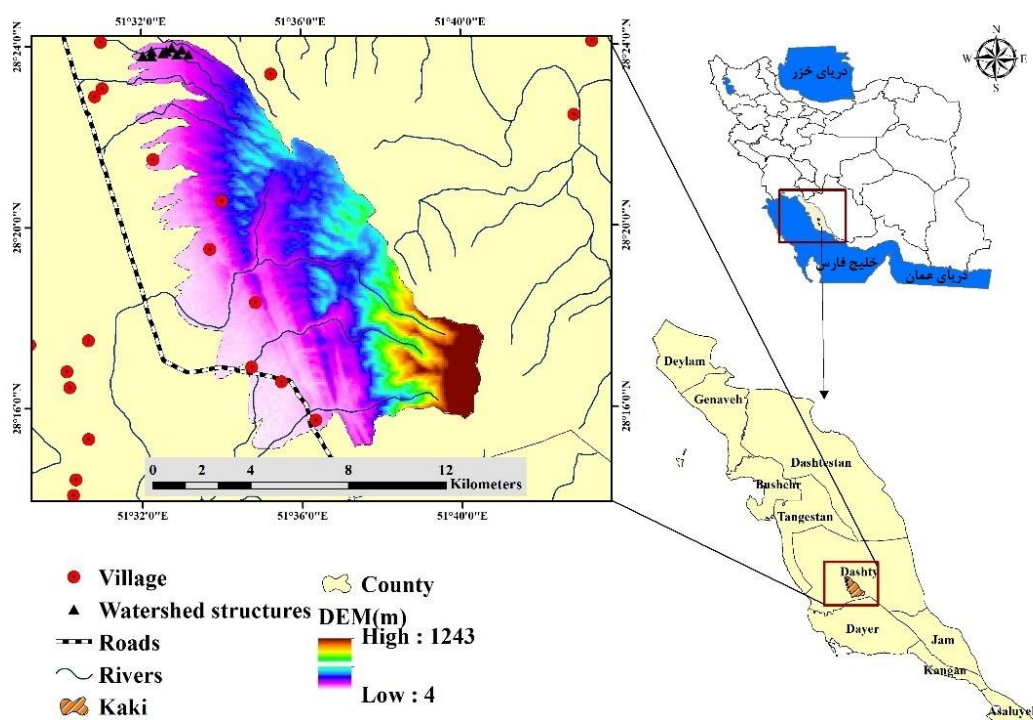
بر اساس آمارهای موجود پس از پیروزی انقلاب اسلامی تا سال ۱۴۰۰ در مجموع هشت سازه سنگی ملاتی آبخیزداری در آبخیز کاکي احداث شده است، اجرای عملیات آبخیزداری و آبخوان‌داری علاوه بر این که مقدار زیادی از رواناب‌ها را کنترل می‌کند، از فرسایش و تخریب خاک جلوگیری کرده و باعث تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی می‌شود. به همین دلیل انجام پروژه‌های مهم آبخیزداری و استحصال حجم قابل‌ملاحظه‌ای از آب‌های روان، باعث مدیریت بحران آب ناشی از خشک‌سالی سال‌های گذشته شده و اگر این کار انجام نمی‌شد به‌طور یقین آبخیز کاکي با شرایط حادثتری در زمینه کم‌آبی روبرو بود.

روش تحقیق

این تحقیق بر اساس روش پیمایشی برای شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی و اسنادی و همچنین روش اسنادی برای ابعاد تئوریک و مفهومی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی در نوشته‌ها و منابع مربوط به موضوع انجام شده است. منطقه مورد مطالعه شامل ۱۳ آبادی در شهرستان دشتی در استان بوشهر است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر طرح‌های آبخیزداری قرار دارند. لذا جامعه آماری تحقیق شامل کلیه خانوارهای روستاهای حوزه آبخیز کاکي به تعداد ۸۱۴ خانوار شد. برای تعیین متغیرهای تحقیق از مقالات و گزارش‌های موجود و نیز از نظر کارشناسان مرتبط با این طرح بهره گرفته شد. اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی از دیدگاه کارشناسان به‌منظور اولویت‌بندی این شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در طرح‌های آبخیزداری به‌ترتیب از پرسش‌نامه‌های مرتبط با فرآیند تحلیل

ادارات جنگلداری و جنگل کاری، مرتع و بیابان زدایی، اداره حفاظت و حمایت، استعدادیابی اراضی و همچنین اداره آموزش و ترویج اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان و شهرستان ها، باسابقه بالای ۱۰ سال نظرسنجی صورت گرفت. روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی را به منظور مشخص نمودن وزن شاخص ها استفاده شد. در این تحقیق از روش آلفای کرونباخ^۲ برای محاسبه میزان پایایی یا قابلیت اعتماد پرسش نامه با طیف لیکرت استفاده شد.

سلسله مراتبی فازی^۱ (مبتنی بر مقایسات زوجی معیارها) و پرسش نامه با طیف لیکرت (خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵)) به عنوان ابزار اندازه گیری استفاده شد. پس از مشخص نمودن زیرشاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری و طبقه بندی در قالب شاخص های مربوطه، روایی پرسش نامه مبتنی بر نظرات خبرگان به تأیید نهایی رسید. سپس از ۳۴ نفر از کارشناسان ادارات مطالعات و خدمات فنی آبخیزداری، امور فنی اجرایی آبخیزداری و اداره ارزیابی و اطلاعات جغرافیایی و نیز



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در کاکي در استان بوشهر و کشور ایران
Figure 1- The location of Kaki watershed in Bousher Province and Iran

آبخیزداری، امور فنی اجرایی آبخیزداری، اداره ارزیابی و اطلاعات جغرافیایی، جنگلداری و جنگل کاری، مرتع و بیابان زدایی، اداره حفاظت و حمایت، استعدادیابی اراضی و همچنین اداره آموزش و ترویج اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری

پس از مشخص نمودن زیرشاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری و طبقه بندی آن ها در قالب شاخص های مربوطه، روایی پرسش نامه بر اساس نظرات خبرگان مورد تأیید نهایی قرار گرفت. سپس از ۳۴ نفر از کارشناسان ادارات مطالعات و خدمات فنی

استان و شهرستان‌ها با سابقه‌ی کاری بالای ۱۰ سال، نظرسنجی صورت گرفت. به‌منظور تعیین وزن شاخص‌ها از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. در این تحقیق برای سنجش میزان پایایی یا قابلیت اعتماد پرسش‌نامه با طیف لیکرت، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده گردید. همچنین برای مقایسه رتبه‌ای شاخص‌ها و بررسی تفاوت میانگین رتبه‌ها در بین گروه‌های مختلف، از آزمون ناپارامتریک فریدمن با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی از دیدگاه ساکنان حوضه به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری از پرسش‌نامه با طیف لیکرت به‌عنوان

ابزار اندازه‌گیری استفاده شد و از ساکنان حوضه پس از سنجش روایی و پایایی پرسش‌نامه نظرسنجی به عمل آمد. واحد نمونه، خانوار روستایی بوده و به‌منظور محاسبه حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد. بر پایه تعداد خانوار موجود در این دهستان (۸۱۴ خانوار)، تعداد ۲۶۱ پرسش‌نامه تکمیل شد؛ که در جدول ۱ تعداد آبادی جمعیت و تعداد نمونه انتخاب‌شده از هر آبادی نشان داده شده است. پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های مردمی توسط جوامع محلی حوزه آبخیز کاکي، مقدار آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۳ محاسبه شد که با توجه به میزان بالاتر از ۰/۷ این ضریب، ابزار اندازه‌گیری (پرسش‌نامه) از پایایی قابل قبول برخوردار بوده و به عبارتی، زیرشاخص‌های مفروض از پایایی و سازگاری درونی مناسبی برخوردارند.

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

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

ردیف	نام آبادی	تعداد خانوار	جمعیت	تعداد نمونه
1	تلخو	187	690	60
2	علی‌آباد	57	161	18
3	باغ‌شور	11	33	6
4	بنیاد	221	819	71
5	گنخک کورا	80	292	26
6	گنخک شیخی	199	687	64
7	مسیله بهمنی	5	24	2
8	مسیله عبدی	11	43	4
9	مسیله فخری	7	22	2
10	مسیله کشوری	5	20	2
11	مسیله کلو	10	22	3
12	هلالی حاج عوض	4	7	1
13	گنخک رئیسی	17	54	5
جمع کل		814	2874	261

شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی

عوامل متعددی می‌توانند بر عدم مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری دخالت داشته باشند که در این تحقیق این عوامل بر اساس

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

جدول ۲- شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه های آبخیزداری

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

شاخص	زیرشاخص	اختصار
اجتماعی	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	X1
	اختلافات محلی و قومی	X2
	عدم اعتماد نسبت به نتایج پروژه ها	X3
طراحی- اجرا	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	X4
	عدم به کارگیری نیروی محلی در اجرای پروژه ها (اشتغال زایی)	X5
	عدم توجه به سازمان های غیردولتی (سمن ها) و معتمدان محلی	X6
	عدم نظرخواهی از ذینفعان در مراحل طراحی و تدوین پروژه ها	X7
اقتصادی	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه ی اقتصادی مستقیم در اجرای طرح های آبخیزداری	X8
	دیربازده بودن طرح های آبخیزداری	X9
	درآمد کم ساکنان حوضه	X10
آموزشی و ترویجی	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح ها و اهداف مربوطه	X11
	عدم استفاده از گروه مروج بومی	X12

نتایج و بحث

برای اولویت بندی شاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی در پروژه های آبخیزداری، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. در این راستا، پرسش نامه های طراحی شده بر مبنای ساختار سلسله مراتبی معیارها، توسط ۳۴ کارشناس خبره که دارای تجربه عملی و علمی در حوزه آبخیزداری بودند، تکمیل گردید. نتایج حاصل از تحلیل داده ها، شامل مقادیر نسبت سازگاری و اوزان نرمال شده شاخص ها، در جدول ۳ ارائه شده است. مقدار نسبت سازگاری کل محاسبه شده برابر 0.082 بوده که کمتر از حد آستانه $0.1 \leq CR$ (0.1) است و بنابراین از نظر منطق تصمیم گیری و سازگاری قضاوت ها، قابل قبول محسوب می شود. همچنین دامنه تغییرات نسبت سازگاری در قضاوت های کارشناسان خبره بین 0.08 تا 0.09 متغیر بوده که همگی در محدوده مطلوب قرار دارند. بر اساس نتایج وزن دهی، از دیدگاه خبرگان، شاخص های مربوط به مرحله طراحی و اجرا بیشترین اهمیت را در ایجاد عدم مشارکت مردم در پروژه های آبخیزداری داشته اند، در حالی که شاخص های آموزشی و ترویجی کمترین وزن نسبی

را به خود اختصاص داده اند. این یافته بیانگر آن است که کاستی ها و مشکلات فنی و مدیریتی در طراحی و اجرای پروژه ها، بیش از ضعف در آموزش و فرهنگ سازی، بر کاهش انگیزه و مشارکت جوامع محلی اثرگذار بوده اند. نتایج این پژوهش با یافته های مطالعات پیشین هم خوانی دارد. به عنوان مثال، در پژوهش Soleimanpour و همکاران (2019) که به بررسی موانع مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری استان فارس پرداخته بود، به ترتیب شاخص های اقتصادی، آموزشی ترویجی، طراحی اجرایی و اجتماعی دارای بیشینه و کمینه اولویت ها در مشارکت ضعیف آبخیزنشینان در آبخیزداری در حوزه آبخیز مرادآباد میمند تعیین شدند.

نتایج حاصل از تحلیل دیدگاه کارشناسان خبره و اجرای آزمون ناپارامتری فریدمن به منظور اولویت بندی زیرشاخص ها و تعیین اهمیت نسبی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه های آبخیزداری حوضه های استان بوشهر، در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، دامنه مقادیر میانگین رتبه ها بین 4.06 تا 8.49 متغیر بوده است. همچنین، مقدار سطح معنی داری کمتر از 0.01 در

آزمون فریدمن نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد، تفاوت معناداری میان اهمیت نسبی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت مردم وجود دارد. بر اساس دیدگاه خبرگان، زیرشاخص "عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه" با میانگین رتبه ۸/۴۹ دارای بالاترین اولویت نسبی در تبیین عدم مشارکت مردم بوده است. این یافته بیانگر آن است که نبود آموزش کافی و عدم آگاهی‌بخشی مؤثر به جامعه محلی، نقش کلیدی در کاهش انگیزه و تمایل به مشارکت دارد. در مقابل، زیرشاخص "دیربازده بودن طرح‌های آبخیزداری" با میانگین رتبه ۴/۰۶ کمترین اولویت نسبی را به خود اختصاص داده است، که نشان می‌دهد طولانی بودن بازده اقتصادی یا زیست‌محیطی طرح‌ها، اگرچه ممکن است بر انگیزه مشارکت تأثیر بگذارد، اما در مقایسه با عوامل

آموزشی و اطلاع‌رسانی، از اهمیت کمتری برخوردار است. این نتایج با یافته‌های برخی مطالعات پیشین هم‌راستا است. به عنوان مثال، پژوهش Hoseini و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی موانع مشارکت مردمی در پروژه‌های منابع طبیعی استان کرمان، کمبود آموزش و اطلاع‌رسانی شفاف را مهم‌ترین عامل بی‌اعتمادی و عدم مشارکت معرفی کرده است. Saleh Pourjam و همکاران (۲۰۱۷) عوامل مؤثر بر عدم مشارکت ذینفعان در طرح‌های آبخیزداری، شاخص‌های اقتصادی و برنامه‌ریزی جزو شاخص‌های با اولویت بالا شناسایی شده‌اند که با نتایج این تحقیق تا حدودی هم‌خوانی دارد. مقایسه‌ها و بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سایر منابع نیز شاخص مربوط به آموزش و ترویج کمینه میزان اهمیت را به خود اختصاص داده است (Mansouri et al., 2017).

جدول ۳- نسبت سازگاری و وزن نرمال شده محاسباتی شاخص‌ها

Table 3- Compatibility ratio and normalized calculation weight of indicators

شاخص	CI	RI	CR	L	M	U	وزن نرمال
اقتصادی				0.18	0.39	0.76	0.409
اجتماعی				0.06	0.14	0.33	0.156
طراحی-اجرایی	0.089	0.9	0.082	0.16	0.43	1.17	0.435
آموزشی و ترویجی				0.02	0.04	0.08	0.00

هم‌چنین نتایج اوزان حاصل از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردم حاکی از تفاوت نقش زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری است. علاوه بر این تفاوت، میزان اهمیت این زیرشاخص‌ها نیز از منظر دو گروه کارشناسان و جوامع محلی، مورد اختلاف است. از منظر کارشناسان، زیرشاخص‌های "عدم آموزش ساکنان آبخیز در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه" و زیرشاخص "دیربازده بودن طرح‌های آبخیزداری" به ترتیب بیشینه و کمینه اهمیت را در عدم مشارکت مردم به خود اختصاص داده‌اند و از منظر جوامع محلی

حوزه آبخیز کاکي، زیرشاخص "عدم استفاده از گروه مروج بومی" و زیرشاخص "پایین بودن سطح سواد و آگاهی"، به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین میزان اهمیت در عدم مشارکت مردم هستند. Saleh Pourjam و همکاران (۲۰۱۷) زیرشاخص "تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در مرکز" را جزو مهم‌ترین عواملی که باعث عدم مشارکت مردم در پروژه‌های منابع طبیعی مشرف به شهر تهران شده است، شناسایی و معرفی نموده‌اند که با نتایج این تحقیق هم‌راستا نیست. نتایج تحقیق نشان داد رابطه معنی‌داری بین عدم اعتماد به مجریان طرح‌ها و عدم مشارکت مردم در پروژه‌های

آبخیزداری وجود دارد. جهت مشارکت بیش تر و پایدارتر بهره برداران در مراحل مختلف اجرای طرح های آبخیزداری جلب اعتماد بهره برداران از اقدامات ضروری است. نتایج این تحقیق، تحقیقات Mohammadi (۲۰۱۶) را حمایت می کنند. بین شرکت بهره برداران در دوره های آموزشی و ترویجی و عدم مشارکت مردم در پروژه های آبخیزداری رابطه وجود دارد. در این رابطه تأثیر دوره های آموزشی بر کسی پوشیده نیست. در صورت برگزاری منظم دوره های آموزشی، میزان مشارکت بهره برداران در طرح های آبخیزداری تا حد زیادی افزایش می یابد. افزایش مشارکت بهره برداران نیازمند ارتباط قوی بین کارشناسان، مروجان و

بهره برداران ساکن در آبخیز است. نتایج تحقیق را تحقیقات Baghaei و همکاران (۲۰۰۸) حمایت می کند. نتایج تحقیق نشان می دهد عدم شناخت اهداف و برنامه های آبخیزداری از جمله متغیرهایی است که مانع از مشارکت بهره برداران در طرح های آبخیزداری می شود. برگزاری کلاس های توجیهی، برگزاری بازدید از طرح های اجرا شده در سایر مناطق می تواند تا حد زیادی در برطرف نمودن این مانع به مجریان و دست اندرکاران طرح ها کمک نماید. نتایج تحقیق را تحقیقات Baghaei و همکاران (۲۰۰۸)، Hematzadeh و Khalighi (۲۰۰۶) حمایت می کند.

جدول ۴- رتبه بندی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت مردم در فعالیت های آبخیزداری از دیدگاه کارشناسان
Table 4- Ranking of the factors affecting people's non-participation in watershed management activities from the point of view of experts

اولویت	عامل	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوتر	درجه آزادی	سطح معنی داری
1	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح ها و اهداف مربوطه	8.49				
2	عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه ها (اشتغال زایی)	8.26				
3	عدم توجه به نظرات و پیشنهاد های آبخیز نشینان در مراحل مختلف نیاز سنجی، طراحی و اجرای پروژه های آبخیزداری	7.78				
4	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه ی اقتصادی مستقیم در اجرای طرح های آبخیزداری	7.65				
5	عدم استفاده از گروه های مروج بومی	7.53				
6	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	6.90	34	76.68	11	0.00
7	درآمد کم خانوار روستایی ساکنان حوضه	6.49				
8	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	6.06				
9	عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثربخشی پروژه ها	5.28				
10	عدم توجه به سازمان های غیردولتی (سمن ها) در برنامه ریزی های آبخیزداری	5.18				
11	اختلافات قومی و محلی	4.34				
12	دیر بازده بودن طرح های آبخیزداری	4.06				

جدول ۵ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، دامنه مقادیر میانگین رتبه ها بین ۴/۳۲ تا ۸/۷۷ متغیر بوده است. همچنین، مقدار سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۱ در آزمون فریدمن نشان می دهد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد، تفاوت

نتایج حاصل از تحلیل پرسش نامه های تکمیل شده توسط جوامع محلی ساکن در حوزه آبخیز کاکلی و اجرای آزمون ناپارامتری فریدمن به منظور اولویت بندی شاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه های آبخیزداری این حوضه، در

جغفری و همکاران

اجتماعی، اقتصادی و تجربیات گذشته مردم منطقه از تعامل با پروژه‌های آبخیزداری باشد دارد. نتایج حاضر با تأکید بر وجود تفاوت معنادار میان اهمیت نسبی شاخص‌ها، بر ضرورت طراحی راهکارهای متمایز برای هر عامل و توجه به اولویت‌های واقعی مردم منطقه تأکید می‌کند.

معناداری در اهمیت نسبی شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردم وجود دارد. این نتایج بیانگر آن است که از نگاه جوامع محلی، وزن و اهمیت شاخص‌ها یکسان نیست و برخی عوامل به‌طور برجسته‌تری در کاهش مشارکت مردم نقش دارند. چنین الگوی اولویت‌بندی می‌تواند بازتاب‌دهنده شرایط

جدول ۵ - رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردم از منظر جوامع محلی حوزه آبخیز کاکي

Table 5- Ranking of indicators affecting people's non-participation from the perspective of local communities of Kaki watershed

اولویت	شاخص	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوتر	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
2	اقتصادی	6.65	261	12.87	3	0.20
4	طراحی - اجرا	6.10				
1	اجتماعی	7.01				
3	آموزشی و ترویجی	6.32				

است. هم‌چنین از منظر جوامع محلی شاخص اقتصادی جایگاه اول را دارا است در صورتی که از منظر خبرگان جایگاه دوم را دارد (شکل ۲). از منظر خبرگان، به‌ترتیب زیرشاخص‌های "عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه، عدم بکارگیری نیروی محلی در اجرای پروژه‌ها (اشتغال‌زایی) و عدم نظرخواهی از ذینفعان در مراحل طراحی و تدوین پروژه‌ها" دارای بیشترین اولویت و از منظر جوامع محلی، نیز زیرشاخص‌های "اختلافات محلی و قومی، عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه و نادیده گرفتن درآمد مردم به‌عنوان انگیزه‌ی اقتصادی مستقیم در اجرای طرح‌های آبخیزداری" بیشترین اولویت دارند. در نتیجه اختلافات محلی و قومی و عدم آموزش و آگاهی لازم در مورد طرح‌های آبخیزداری در بین جوامع محلی در رتبه اول قرار دارد.

بر اساس نتایج (جدول ۶)، دامنه مقادیر میانگین رتبه‌ها بین ۲۷/۴ تا ۸۲/۸ بوده است. هم‌چنین، مقدار سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ در آزمون فریدمن نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد، تفاوت معناداری میان اهمیت نسبی زیرشاخص‌ها وجود دارد. بر این اساس، از دیدگاه جوامع محلی آبخیز کاکي، زیرشاخص "اختلافات محلی و قوم" با میانگین رتبه ۸/۷۷ بیشترین اولویت نسبی را داشته و مهم‌ترین عامل کاهش مشارکت مردم تلقی شده است. در مقابل، زیرشاخص "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی" با میانگین رتبه ۴/۳۲ کمترین اهمیت نسبی را به خود اختصاص داده است. این نتایج بیانگر آن است که مردم منطقه، برطرف نمودن اختلافات محلی و قومی را عامل کلیدی در جلب مشارکت می‌دانند، در حالی که نقش محدودیت‌های تحصیلی و آگاهی عمومی را نسبتاً کمتر ارزیابی کرده‌اند. اولین شاخص طراحی و اجرا است در صورتی که از منظر جوامع محلی طراحی - اجرا در جایگاه سوم

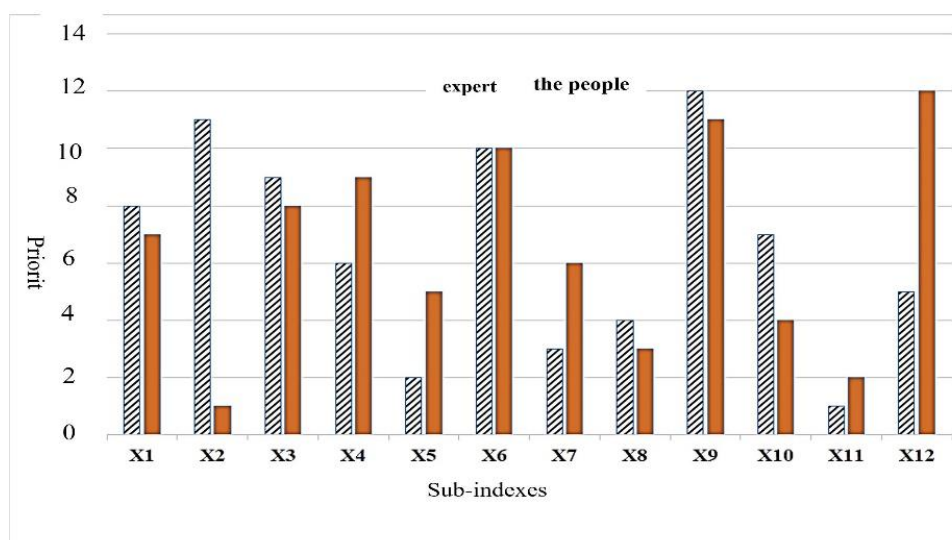
جدول ۶- رتبه بندی زیرشاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردم از منظر جوامع محلی آبخیز کاکي
Table 6- Ranking of sub-indices affecting people's non-participation from the perspective of local communities of Kaki watershed

اولویت	عامل	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوئر	درجه آزادی	سطح معنی داری
1	اختلافات قومی و محلی	8.77				
2	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح ها و اهداف مربوطه	8.32				
3	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه ی اقتصادی مستقیم در اجرای طرح های آبخیزداری	7.87				
4	درآمد کم خانوار روستایی ساکنان حوضه	7.37				
5	عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه ها (اشتغال زایی)	6.93				
6	عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه های آبخیزداری	6.66	261	65.16	11	0.00
7	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	6.23				
8	عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثربخشی پروژه ها	6.02				
9	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	5.6				
10	عدم توجه به سازمان های غیردولتی (سمن ها) در برنامه ریزی های آبخیزداری	5.19				
11	دیربازده بودن طرح های آبخیزداری	4.78				
12	عدم استفاده از گروه های مروج بومی	4.27				

جدول ۷- رتبه بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر عدم مشارکت مردم از منظر خبرگان و جوامع محلی حوزه آبخیز کاکي

Table 7- Ranking of indices and sub-indices affecting non-participation of people from the point of view of experts and local communities of Kaki watershed

شاخص	اولویت		زیرشاخص	اختصار	اولویت	
	خبرگان	مردم			خبرگان	مردم
اجتماعی	3	1	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	X1	8	7
			اختلافات محلی و قومی	X2	11	1
			عدم اعتماد نسبت به نتایج پروژه ها	X3	9	8
طراحی- اجرا	1	4	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	X4	6	9
			عدم به کارگیری نیروی محلی در اجرای پروژه ها (اشتغال زایی)	X5	2	5
			عدم توجه به سازمان های غیردولتی (سمن ها) و معتمدان محلی	X6	10	10
			عدم نظرخواهی از ذینفعان در مراحل طراحی و تدوین پروژه ها	X7	3	6
اقتصادی	2	2	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه ی اقتصادی مستقیم در اجرای طرح های آبخیزداری	X8	4	3
			دیربازده بودن طرح های آبخیزداری	X9	12	11
			درآمد کم ساکنان حوضه	X10	7	4
آموزشی و ترویجی	4	3	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح ها و اهداف مربوطه	X11	1	2
			عدم استفاده از گروه مروج بومی	X12	5	12



شکل ۲- اولویت‌بندی زیرشاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردم از منظر خبرگان و جوامع محلی

Figure 2- Prioritization of sub-indices affecting people's non-participation from the perspective of experts and local communities

بزرگان، افراد تحصیل کرده، اعضای شورای اسلامی و معلمان روستاها جزو معتمدترین افراد روستا هستند، این گروه‌ها در کنار سازمان‌های مردم‌نهاد (سمن‌ها) می‌توانند نقش مروج بومی برای اهالی منطقه را داشته و با ترویج اهداف پروژه‌ها، زمینه جلب مشارکت مردم در پروژه‌های مزبور را فراهم نمایند. به‌علاوه فراهم نمودن شرایطی جهت مشارکت فعال آبخیزنشینان در مراحل مختلف تصمیم‌گیری، طراحی- اجرا و نگهداری و ترمیم پروژه‌های آبخیزداری که از آن جمله می‌توان به تدوین شرح خدمات نوین مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز بر اساس مشارکت جوامع محلی و سایر ذینفعان اشاره کرد. در نظر گرفتن منافع آبخیزنشینان و اجرای پروژه‌های چندمنظوره باهدف ایجاد انگیزه اقتصادی مستقیم و ارتقای درآمد خانوار روستایی موجب کاهش موانع مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری می‌شود. ارائه نتایج این تحقیق که شامل دیدگاه آبخیزنشینان و بهره‌برداران از حوزه آبخیز می‌باشد، به صورت اطلاع‌رسانی در قالب برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای جوامع محلی و بهره‌برداران حوزه‌های آبخیز در مشارکت جوامع محلی تاثیرگذار خواهد بود. همچنین ارائه نتایج پروژه در شبکه تلویزیونی برکت مربوط به

در این حوضه نتایج رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردم از دیدگاه جوامع محلی تا حدودی متفاوت نسبت به رتبه‌بندی کارشناسان خبره بوده و به‌ترتیب شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی، آموزشی و ترویجی و درنهایت طراحی- اجرا در عدم شکل‌گیری مشارکت این جوامع در پروژه‌های آبخیزداری استان بوشهر در آبخیز کاکلی داشته‌اند. دلیل این موضوع نیز بی‌ارتباط با آگاهی کمتر جوامع محلی نسبت به کارشناسان در خصوص مسائل مربوط به عامل طراحی اجرا برای طرح‌های حوضه نیست. کارشناسان بر این باورند که عدم توجه مشارکت جوامع محلی در مسائل طراحی و سپس اجرای طرح‌های آبخیزداری باعث نوعی بدبینی نسبت به طرح‌های اجرایی آبخیزداری می‌گردد. این نتایج نشان داد به‌طورکلی در حوزه آبخیز کاکلی، شاخص‌های طراحی- اجرا و اجتماعی نقش بیشتری را در عدم مشارکت مردم نسبت به شاخص اقتصادی دارند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود برگزاری دوره‌ها و کلاس‌های آموزشی با هدف افزایش اطلاعات و دانش جوامع محلی با پروژه‌های آبخیزداری در اولویت قرار گیرد. همچنین ازآنجاکه معتمدان محلی ازجمله ریش‌سفیدان و

عوامل عدم مشارکت جوامع محلی در اجرای پروژه پروژه‌ها و طرح‌های آبخیزداری از دیگر راهکارها بود.

سازمان جهادکشاورزی استان و ارسال گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی یادشده برای استفاده اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان بوشهر در جهت شناخت

References

- Abdolmaleki, M., Pejzi Rad, Gh., & Chizari, M. (2007). Investigating the effectiveness of short-term extension training courses for rangers in Tuyserkan County. *Agricultural Sciences*, 13(1), 39-53. (In Persian)
- Ashoori, D., Bagheri, A., Allahyari, M. S., & Michailidis, A. (2016). Understanding the attitudes and practices of paddy farmers for enhancing soil and water conservation in Northern Iran. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(4), 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.09.003>
- Atmis, E. D. I., Lise, W., & Yildiran, O. (2007). Factors affecting women's participation in forestry in Turkey. *Ecological Economics*, 60(4), 787-796. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.02.016>
- Bagdi, G. L., & Kurothe, R. S. (2014). People's participation in watershed management programmes: Evaluation study of Vidarbha region of Maharashtra in India. *International soil and water conservation research*, 2(3), 57-66. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30023-X](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30023-X)
- Baghaei, M., Chizari, M., Pejzikirad, Gh., & Feli, S. (2008). Individual and social factors affecting the participation of villagers in the Zarchashmeh-Hunjan watershed in watershed management projects. *Iranian Agricultural Extension and Education Sciences*, 4(1), 87-73. (In Persian)
- Bagherian, R., Goodarzi, M., Sanaei-Torqabeh, M., & Bagherian-Kalaat, A. (2017). Investigating the dimensions of public participation in watershed management plans using factor analysis. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 11 (36), 75-69. (In Persian)
- Bagherian, R., Samah, B., Samah, A. A., & Ahmad, S. (2009). A social exchange approach to people's participation in watershed management programs in Iran. *European Journal of Scientific Research*, 34(3), 428-441.
- Eslami, A., & Noor, H. (2022). Investigating and prioritizing factors affecting the non-participation of rural societies in watershed management projects (Case study: Asadli watershed, North Khorasan Province). *Journal of Rainwater Catchment Systems*. 10 (2), 1-10. (In Persian)
- Fathi, E., Mosaffaie, J., Ehtesasi, M., & Talebi, A. (2025). Factors Affecting the Participation of Local Communities in Water Resource Conservation (Case Study: Ilam Dam Watershed). *Geography and Environmental Sustainability*, 15(2), 107-124. (In Persian)
- Garcia, X., Muro, M., Ribas, A., Llausàs, A., Jeffrey, P., & Saurí, D. (2013). Attitudes and behaviours towards water conservation on the Mediterranean coast: the role of socio-demographic and place-attachment factors. *Water International*, 38(3), 283-296. <https://doi.org/10.1080/02508060.2013.794641>
- Haidari, S. H., & Wright, S. (2001). Participation and participatory development among the KalhorNomads of Iran. *Community Development Journal*, 36(1). 53-62. (In Persian)
- Hematzadeh, Y., & Khalighi, N. (2006). effective factors survey on lake of participation of users in pasture and watershed management design (case study: user of kchik reagent sphere in golestan province). *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 13(4), 88-100. (In Persian)
- Hoque, M., & Itohara, Y. (2008). Participation and decision making role of rural women in economic activities: A comparative study for members and non-members of the micro- credit organizations in Bangladesh. *Journal of Social Sciences*, 4(3), 229-36. <https://doi.org/10.3844/jssp.2008.229.236>
- Mansouri, A., Salehpourjam, A., Mohammadi M., & Kianian. M. K. (2016). *Investigation and prioritizing preventing factors of people participation in natural resources plans (Case study: Kan watershed area, Tehran, Iran)*. 2th national conference on

- conservation of natural resources and environment, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. (In Persian)
- Mohammadi Golrang, B., Fodsi, L., & Sadeghi, H. (2016). Evaluating the relationship between the independent variable of awareness of soil conservation and watershed management operations with public participation in watersheds for rural development. *Geography and Development*, 14(44), 189-208. (In Persian)
- Mosaffaie, J., & Salehpour Jam, A. (2021). Prioritization of factors preventing participation of rural people in soil & water conservation projects (The case of Vers watershed). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(5), 975-986. (In Persian)
- Noor, H. , Salehpour Jam, A., & Rajai, S. H. (2022). Comparison of effective factors on preventing participation of rural societies in watershed management plans based on local people and experts viewpoints. *Watershed Engineering and Management*, 14(3), 400-411. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.127630.1713>
- Piroo, T., Moqim, H., & Rahmani, A. (2007). *Study of social and economic factors affecting the level of rural participation in the PRA watershed management plan*. The Fourth National Conference on Watershed Science and Engineering, Karaj (Faculty of Natural Resources, University of Tehran). (In Persian)
- Saleh porjam, A. Tabatabaei, M. R., Mosaffaie, J., Soltani, M. J., & Shadmani, A. (2022). Barriers to participatory implementation of soil conservation projects: Perspectives and priorities. *Environmental Science & Policy*, 131, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.016>
- Saleh Pourjam, A., Rasouli, F., Sarrashtehdari, A., Mosfaei, J., & Kianian, M. (2019). Investigating social indicators affecting public lack of participation in natural resource projects using AHP method and nonparametric tests. *Watershed Engineering and Management*, 12(1), 339-330. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121767.1480> (In Persian)
- Saleh Pourjam, A., Sarrashtehdari, A., & Tabatabaei,. (2017). Prioritizing factors affecting the lack of stakeholder participation in watershed management plans based on experts' perspectives, Study area: Watersheds overlooking Tehran city. *Watershed Engineering and Management*, 9(4), 450-450. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.113463> (In Persian)
- Salehpour Jam, AC Karimpour R., Majid, K., Mohammad K., & Tajiki, M. (2012). *Investigating factors affecting public lack of participation in natural resource projects. Case Study: Quchak and Rudak Region*. The First National Desert Conference, Tehran. (In Persian)
- Soleimanpour, S., Soleimanpour, A., Noroozi, A., & Khalili, N (2019). Investigation of Stakeholders in Prioritizing Factors Affecting Their Poor Participation in Watershed Management Projects (Case Study: Morad Abad Watershed in Meymand, Fars Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(4), 974-994. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.286205.1403> (In Persian)
- Taie-Semiromi, S., & Ahmadi, M. (2016). *An insight into the most important factors affecting participation and non-participation in watershed management projects and its feedback on the livelihoods of users*. 11th National Conference on Watershed Science and Engineering, Yasuj, Iran. (In Persian)

The role of diversity and redundancy in the resilience of the socio-hydrological system: A comparative study of Tehran's Urban districts

Samira Mohammadian¹, Mehdi Ghorbani^{1*}, Arash Malekian¹, Aboutaleb Mohammadi², Majid Rahimi³

1. Department of Arid and Mountainous Areas Rehabilitation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Tehran City Studies and Planning Center, Tehran Municipality, Tehran, Iran
3. Social Business Institute, University of Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding author: mehghorbani@ut.ac.ir

(Received: 28 July 2025

Revised: 13 September 2025

Accepted: 11 November 2025)

Extended Abstract

Introduction: Urban water resilience has emerged as a critical concept within urban science and resource management, particularly in metropolises like Tehran. The city faces a confluence of challenges, including rapid population growth, unbalanced physical development, the escalating impacts of climate change, and intensifying pressure on its limited water resources. These trends have profoundly impacted the sustainability and functionality of socio-hydrological systems—defined by the complex, feedback-driven interactions between human society and water systems. Consequently, urban water resilience has become a fundamental metric for evaluating a city's capacity to manage water crises. Within this context, the principles of diversity and redundancy are recognized as key components in maintaining the stability and continuous performance of urban water systems. By effectively strengthening these factors through urban policy, cities can reduce vulnerabilities and enhance their flexibility in confronting water crises and environmental changes. This study aims to conduct a comparative analysis of the role of diversity and redundancy in enhancing the resilience of the socio-hydrological system across three distinct urban districts of Tehran: Districts 4, 10, and 22.

Materials and methods: This research employed a comparative analytical approach, selecting three Tehran districts (4, 10, and 22) as case studies due to their significant differences in demographic and infrastructural characteristics. The conceptual framework was organized around five key dimensions of resilience: social, economic, organizational, infrastructural, and human capital. Data were collected using a structured questionnaire distributed to urban water managers and experts via a snowball sampling method. The questionnaire's validity was confirmed through expert review, and its reliability was demonstrated by a Cronbach's alpha coefficient of 0.89, indicating high internal consistency. For data analysis, the non-parametric Kruskal-Wallis test was utilized to compare the mean ranks across the different districts and dimensions, as the data distribution was non-normal.

Results and Discussion: The analysis revealed nuanced findings regarding diversity and redundancy. At the overall level of diversity, no significant difference was observed between the three districts ($p=0.577$). However, a detailed examination of sub-dimensions showed that District 22 held a significant superiority in social capital diversity ($p=0.003$). This indicates a high capacity for strengthening social participation and leveraging dynamic informal civic relationships, underscoring the importance of social networks in enhancing resilience in newer districts, even with less-developed physical infrastructure. In contrast, the redundancy dimension showed a notable advantage for the more established Districts 4 and 10, particularly in the economic, organizational, and infrastructural domains, with an overall significant difference ($p=0.019$). This superiority was statistically significant in the sub-dimensions of economic ($p=0.014$), institutional ($p=0.013$), and infrastructural ($p=0.033$) capital. These findings suggest that historical context and existing infrastructure bolster structural and economic resilience in older districts, whereas newer districts may derive dynamic resilience from robust social capital and informal networks. The study also identified cross-cutting challenges, including a lack of precise organizational data, a disconnect between national policies and local implementation, and structural-demographic constraints, which hinder resilience-building in all districts. Addressing these weaknesses requires holistic, region-specific strategies, improved inter-institutional communication, and the mobilization of local social capacities.

Conclusion: The findings demonstrate that urban water resilience is a multidimensional phenomenon that cannot be achieved through technical and infrastructural solutions alone. A comprehensive approach must also strengthen human interactions, institutional cooperation, and the strategic application of local social capacities. The analytical framework developed in this research provides a valuable, context-sensitive basis for evaluating, planning, and enhancing urban water resilience in other metropolises. Achieving sustainable urban water resilience is contingent upon participatory governance, transparent management mechanisms, meaningful stakeholder engagement, and a dedicated focus on the unique local capacities of each district. Therefore, it is recommended that urban policymakers, in their pursuit of enhanced water resilience, simultaneously address human, economic, and institutional aspects alongside the expansion of technical and financial infrastructures. Ultimately, resilience in the face of future water challenges demands a comprehensive, interdisciplinary, and continuous approach that integrates the participation of all stakeholders with the application of technological and managerial innovations.

Keywords: Redundancy, Diversity, Social capital, Water resources management, Socio-hydrological system

Citation: Mohammadian, S., Ghorbani, M., Malekian, A., Mohammadi, A., & Rahimi, M. (2026). The role of diversity and redundancy in the resilience of the socio-hydrological system: A comparative study of Tehran's Urban districts. *Integrated Watershed Management*, 2(6), 79-94. doi=10.22034/iwm.2025.2067168.1243

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیک: مطالعه تطبیقی مناطق

تهران

سمیرا محمدیان^۱، مهدی قربانی^{۱*}، آرش ملکیان^۱، ابوطالب محمدی^۲، مجید رحیمی^۳

۱. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، شهرداری تهران، تهران، ایران

۳. موسسه کسب و کار اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: mehghorbani@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶

چکیده مبسوط

مقدمه: تاب‌آوری منابع آب شهری امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مفاهیم در علوم شهری و مدیریت منابع، به‌ویژه در کلان‌شهرها که با رشد سریع جمعیتی، توسعه نامتوازن کالبدی، اثرات فزاینده تغییرات اقلیمی و فشار روزافزون بر منابع آب محدود مواجه است، مطرح می‌باشد. تداوم این روندها، پایداری و عملکرد نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی را به شدت تحت تأثیر قرار داده و تاب‌آوری منابع آب شهری را به شاخص بنیادینی برای ارزیابی ظرفیت مدیریت بحران‌های آب بدل کرده است. در این میان، دو مؤلفه تنوع و افزونگی نقش کلیدی در حفظ پایداری و استمرار عملکرد نظام آب شهری ایفا می‌کنند. تقویت مؤثر این دو عامل در چارچوب سیاست‌های شهری می‌تواند زمینه‌ساز کاهش آسیب‌پذیری‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری شهرها در مواجهه با بحران‌های آبی و تغییرات محیطی باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تطبیقی نقش دو اصل تنوع و افزونگی در ارتقاء تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ تهران انجام شده است.

مواد و روش‌ها: برای این پژوهش با رویکرد تحلیلی تطبیقی، سه منطقه شهری تهران (مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲) به دلیل تفاوت‌های بارز در ساختارهای جمعیتی و زیرساختی به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب گردید. چارچوب مفهومی بر پنج بعد اصلی (سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی) استوار بود. داده‌ها از طریق پرسشنامه ساختاریافته و با روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی از میان مدیران و کارشناسان آب شهری گردآوری شد. روایی پرسشنامه با نظر کارشناسان، پایایی آن با ضریب آلفای کرونباخ (۰/۸۹) و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون غیرپارامتری کروسکال-والیس انجام شد.

نتایج و بحث: بررسی‌ها نشان داد که در بعد کلی تنوع، تفاوت معنی‌داری میان مناطق مشاهده نشد ($p = 0/577$). با این حال، تحلیل دقیق‌تر زیرباعد نشان داد که در زیربعد سرمایه اجتماعی تنوع، منطقه ۲۲ به طور معنی‌داری برتری داشت ($p = 0/003$). این امر بیانگر ظرفیت بالای این منطقه در تقویت مشارکت اجتماعی و پویایی روابط غیررسمی شهروندی است. این دستاورد، اهمیت شبکه‌ها و کنشگری‌های اجتماعی را در ارتقاء تاب‌آوری مناطق نوظهور با زیرساخت‌های کمتر تقویت می‌کند. در مقابل، یافته‌ها نشان از برتری قابل توجه بعد افزونگی در مناطق ۴ و ۱۰ در حوزه‌های اقتصادی، نهادی و زیرساختی داشت (با تفاوت کلی معنی‌دار در سطح $p = 0/019$). این تفاوت در زیرباعد اقتصادی ($p = 0/014$)، نهادی ($p = 0/013$) و زیرساختی ($p = 0/033$) از نظر آماری معنی‌دار بود. تحلیل‌ها نشان داد که سابقه تاریخی مناطق، تقویت کننده تاب‌آوری ساختاری و اقتصادی است، اما در مناطق جدیدتر، تاب‌آوری پویا عمدتاً از مسیر ارتقاء سرمایه اجتماعی و شبکه‌سازی غیررسمی حاصل می‌شود. از سوی دیگر، چالش‌هایی نظیر کمبود داده‌های دقیق سازمانی، نبود ارتباط مؤثر میان سیاست‌های ملی و اجرای منطقه‌ای و برخی محدودیت‌های ساختاری-جمعیتی، عامل اصلی موانع ارتقاء تاب‌آوری در هر سه منطقه شناسایی شد. مقابله با این ضعف‌ها تنها در گرو راهبردهای کل‌نگر و منطقه‌محور، ارتقاء ارتباطات بین‌نهادی و استفاده از ظرفیت‌های بومی و اجتماعی هر منطقه است.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد که تاب‌آوری منابع آب شهری یک پدیده چندبعدی و ترکیبی است که صرفاً با تکیه بر راهکارهای فنی و زیرساختی حاصل نمی‌شود؛ بلکه تقویت تعامل انسانی، همکاری نهادی و سازمانی و بهره‌گیری مدبرانه از ظرفیت‌های اجتماعی مناطق ضروری است. چارچوب تحلیلی پژوهش حاضر، مبنای بومی مناسبی برای ارزیابی، برنامه‌ریزی و ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری در سایر کلان‌شهرها ارائه می‌دهد. تحقق تاب‌آوری پایدار منابع آب شهری تنها از طریق حکمرانی مشارکتی، شفافیت در سازوکارهای مدیریتی، ایجاد فرصت برای مشارکت ذینفعان و توجه ویژه به ظرفیت‌های بومی هر منطقه ممکن خواهد بود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران شهری در راستای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب، توجه همزمان به جنبه‌های انسانی، اقتصادی و نهادی را در کنار گسترش زیرساخت‌های فنی و مالی دنبال نمایند. تاب‌آوری منابع آب شهری در مواجهه با چالش‌های پیش‌رو نیازمند رویکردی جامع، میان‌رشته‌ای و مستمر است که مشارکت همه ذینفعان و به‌کارگیری نوآوری‌های فناورانه و مدیریتی را به‌طور همزمان مدنظر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: افزونگی، تنوع، سرمایه اجتماعی، مدیریت منابع آب، نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی

استناد: محمدیان، س.، قربانی، الف.، ملکیان، الف.، محمدی، الف. و رحیمی، م. (۱۴۰۵). نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی: مطالعه تطبیقی مناطق تهران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۶(۲)، ۷۹-۹۴.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

بحران کم‌آبی از مهم‌ترین چالش‌های پایدار و پیچیده‌ای است که کلان‌شهرهای ایران، به‌ویژه تهران، در دهه‌های اخیر با آن مواجه شده‌اند (Mirzavand & Bagheri, 2020; Talebi, 2023). این بحران، فراتر از یک مشکل فنی، به مسأله‌ای پیچیده و چندبعدی با مؤلفه‌های نهادی، اجتماعی و اقتصادی تبدیل شده است که نیازمند درک نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی است. نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی (SHS)^۱، به عنوان یک چارچوب میان‌رشته‌ای، بر تعامل پویا و بازخوردی نهادهای انسانی (اقتصاد، سیاست، فرهنگ) با فرآیندهای طبیعی (هیدرولوژی و اقلیم) تأکید دارند (Van Meerbeek et al., 2021). درک این چرخه‌های پیچیده برای هرگونه مداخله مؤثر در بحران آب ضروری است (Bagheri et al., 2022; Ghorbani, 2024).

تاب‌آوری منابع آبی توانایی سیستم‌های اجتماعی و فیزیکی برای جذب، بازیابی و سازگاری با شوک‌ها و تغییرات نامطلوب است (Rodina et al., 2019; Dowlati et al., 2023). این ظرفیت فراتر از زیرساخت‌های فنی شامل جنبه‌های اجتماعی، نهادی و مشارکت ذی‌نفعان نیز می‌شود و با تنوع منابع، افزونگی سیستم‌ها و راهکارهای مبتنی بر طبیعت تقویت می‌شود (Krueger et al., 2020; Anamaghi et al., 2023).

در چنین فضایی، مفهوم تاب‌آوری شهری^۲ به‌عنوان چارچوبی کلیدی برای درک ظرفیت شهرها در مواجهه با بحران‌ها مطرح شده است (Zeng et al., 2022). تاب‌آوری شهری در این معنا، بیانگر توانایی یک نظام اجتماعی-اکولوژیک برای مقابله با شوک‌ها، سازگاری با شرایط متغیر و تداوم عملکرد سیستم در زمان‌های اختلال و بحران است (Fitrianto & Viola, 2023; Esposito, 2025). هرچند این توانایی اغلب با

زیرساخت‌ها و فناوری‌های فنی مرتبط است، اما بخش‌های اجتماعی و نهادی آن نیز به‌مراتب تعیین‌کننده‌تر و پایدارکننده‌تر به شمار می‌آیند (Rehak et al., 2018; Olfert et al., 2021). در واقع، تاب‌آوری در سطح اجتماعی و نهادی بر سرمایه اجتماعی، شبکه‌های همکاری بین سازمان‌ها، مشارکت ساکنان و انعطاف‌پذیری سیاست‌ها و ساختارهای مدیریتی متکی است (Sienkiewicz-Małyjurek, 2022). از این رو، تحلیل و ارزیابی راهکارهای مؤثر برای افزایش تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی از اولویت‌های حیاتی در سیاستگذاری و برنامه‌ریزی شهری است.

در ادبیات پویای تاب‌آوری، دو مفهوم تنوع و افزونگی^۳ به‌عنوان ساختارهای بنیادی برای ارتقاء ظرفیت مقابله و بازسازی سیستم‌ها شناخته می‌شوند (Li et al., 2020; Graveline & Germain, 2022). به بیان دقیق‌تر، تنوع در منابع تأمین آب، ساختار سازمانی، فناوری‌ها و سیاست‌ها، سازگاری و کاهش تمرکز بر یک مسیر خاص را افزایش می‌دهد (O'Connell, 2017; Pietrucha-Urbanik & Rak, 2023). در کنار آن، افزونگی به معنای وجود اجزای جایگزین و سامانه‌های پشتیبان برای تضمین عملکرد مستمر سیستم در شرایط فقدان یا اختلال در بخش‌هایی از شبکه است (Berger et al., 2021). پیوند تنوع و افزونگی، نه تنها در ابعاد فنی و زیرساختی بلکه در روابط سازمانی و اجتماعی نیز نقشی حیاتی در تاب‌آوری ایفا می‌کند. این رویکرد دوگانه، سیستم را در برابر انواع چالش‌ها مقاوم می‌سازد (Shi et al., 2020).

کلانشهر تهران، به‌سبب پیچیدگی‌های گسترده فضایی، اجتماعی و اقتصادی، نمونه‌ای شاخص از نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی است که در آن‌ها الگوهای مصرف متفاوت، قدمت برخی زیرساخت‌ها و وابستگی‌های شدید به منابع آب متعارف، آسیب‌پذیری

را مضاعف کرده‌اند (Moghaddam *et al.*, 2025). نگرانی‌های مرتبط با کاهش پایداری منابع آب شامل خشکسالی‌های پیاپی، افت سطح سفره‌های زیرزمینی، فرونشست زمین در برخی مناطق و آلودگی منابع آبی، چالش‌های پیچیده و دشواری را پیش‌روی مدیران شهری قرار داده است (La Vigna, 2022). افزون بر این، تفاوت‌های هیدرولوژیکی (مانند میزان دسترسی به منابع زیرزمینی) و همچنین نابرابری‌های گسترده اجتماعی و اقتصادی در مناطق مختلف تهران، پیچیدگی مسائل مدیریت آب را دوچندان کرده است. یکی از موانع اصلی در برابر اجرای راهبردهای تاب‌آورانه در کلان‌شهر پیچیده‌ای مانند تهران، چندپارگی و عدم هماهنگی در ساختار حکمرانی آب است. این چندپارگی در تهران به دلیل تعداد زیاد نهادها و قوانین متناقض، ابعاد ویژه‌ای به خود گرفته است. نهادهای متعددی از جمله وزارت نیرو، شرکت آب و فاضلاب، شهرداری مناطق تهران، سازمان حفاظت محیط‌زیست و جهاد کشاورزی هر یک به نوعی در مدیریت منابع آب شهری دخیل هستند. این تعدد بازیگران، بدون وجود یک مکانیسم هماهنگ‌کننده قوی، اغلب منجر به سیاست‌های متعارض، ائتلاف منابع و کندی در واکنش به بحران‌ها می‌شود (Mohammadian *et al.*, 2024). این چالش نهادی، به کارگیری اصولی مانند تنوع و افزونگی را که نیازمند برنامه‌ریزی یکپارچه و بلندمدت هستند، با دشواری‌های جدی مواجه می‌کند (Rosso, 2025).

مطالعات پیشین به خوبی نشان داده‌اند که بحران آب در تهران را تنها نمی‌توان با تمرکز صرف بر راهکارهای فنی و زیرساختی مدیریت کرد، زیرا ضعف‌های گسترده در همکاری نهادی، نقص نظام حکمرانی مشارکتی، نبود یا ضعف سرمایه اجتماعی محلی و کمبود برنامه‌های آموزشی نیز سهمی تعیین‌کننده دارند (Delavari Edalat & Abdi, 2015; Moshtagh & Mohsenpour, 2019; Mohammadian *et al.*, 2025). با وجود این، آنچه در این میان به عنوان یک خلأ پژوهشی مشخص باقی مانده، تحلیل تطبیقی و

نظام‌مند چگونگی عملکرد اصول کلیدی تاب‌آوری مانند تنوع و افزونگی در مناطق مختلف یک کلان‌شهر با ساختارهای اجتماعی و اقتصادی متفاوت می‌باشد. در کلان‌شهری ناهمگون مانند تهران که راهکاری مؤثر در یک منطقه نوساز (مانند منطقه ۲۲) ممکن است در منطقه‌ای با بافت متراکم (مانند منطقه ۱۰) کارایی نداشته باشد، سیاست‌گذاری‌های کلان و یکسان اغلب به شکست و هدررفت منابع می‌انجامد.

اهمیت و نوآوری این پژوهش دقیقاً در پاسخ به همین ضرورت برنامه‌ریزی نهفته است. این پژوهش برای نخستین بار با تکیه بر شاخص‌های چندوجهی و جامع، یک تحلیل تطبیقی کامل از نقش مؤثر تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق مختلف تهران ارائه می‌دهد. انتخاب مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ شهرداری تهران به عنوان نمونه‌های مطالعه، بر اساس یک رویکرد هدفمند و با هدف پوشش‌دهی تفاوت‌های چشمگیر در بافت اجتماعی، اقتصادی و هیدرولوژیکی شهر صورت گرفته است. منطقه ۴، به عنوان یک منطقه با بافت متنوع و ترکیبی از مناطق قدیمی و نوساز در شرق تهران، نماینده‌ای از پیچیدگی‌های شهری است. منطقه ۱۰، در مرکز شهر، با تراکم بالای جمعیت و بافت فرسوده، نمونه‌ای از مناطق آسیب‌پذیر با چالش‌های زیرساختی است. در مقابل، منطقه ۲۲ در غرب تهران، به عنوان یک منطقه نوساز با زیرساخت‌های مدرن و برنامه‌ریزی شهری متفاوت، شرایطی متمایز را برای تحلیل ارائه می‌دهد. این تنوع در ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه، امکان یک تحلیل تطبیقی جامع و معنی‌دار از عملکرد اصول تاب‌آوری در شرایط گوناگون شهری را فراهم می‌سازد.

بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، تحلیل تطبیقی نقش دو اصل تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ شهرداری تهران است. برای دستیابی به این هدف، این مطالعه به ارزیابی تطبیقی سطح تنوع و تحلیل مقایسه‌ای وضعیت افزونگی در ابعاد پنج‌گانه سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی در این سه منطقه

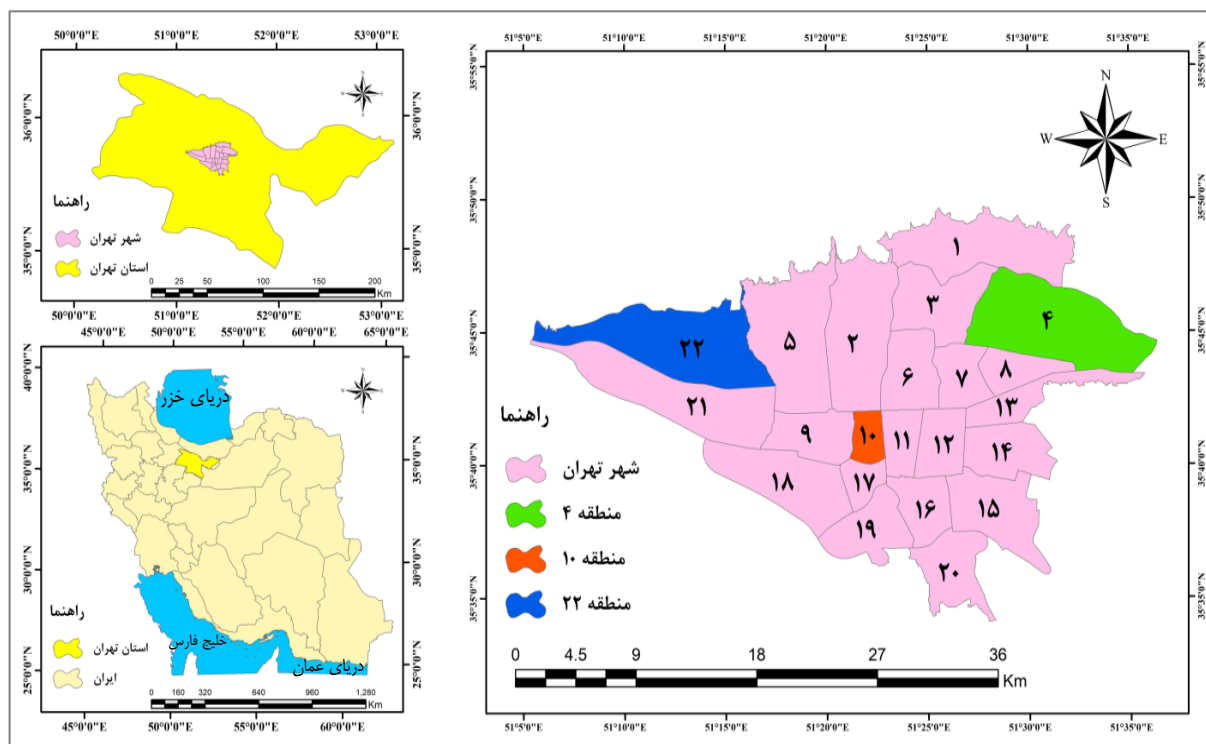
می‌پردازد و در نهایت، با شناسایی نقاط قوت و ضعف کلیدی هر منطقه، به دنبال ارائه پیشنهاد‌های مدیریتی منطقه‌محور برای بهبود تاب‌آوری منابع آبی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مناطق ۴ (شامل محله‌های؛ شمیران، تهران‌پارس، حکیمیه، لویزان و غیره)، ۱۰ (شامل محله‌های؛ امام خمینی، آزادی، نواب و غیره)، و ۲۲ (شامل محله‌های؛ دهکده المپیک، زیبادشت بالا، دریاچه چیتگر و غیره) شهرداری تهران به دلیل تفاوت‌های بنیادین در جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و کالبدی به عنوان محدوده مطالعه انتخاب شدند تا تحلیل تطبیقی دقیقی از تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی آن‌ها ارائه گردد. منطقه ۴ با وسعت ۶۱/۵۷ کیلومترمربع و

جمعیت ۹۶۲,۰۹۲ نفر، یکی از پرجمعیت‌ترین مناطق تهران است. در حالی که منطقه ۱۰ با مساحت ۸/۱۹ کیلومترمربع و جمعیت ۳۴۲,۱۱۳ نفر، دارای تراکم ناخالص جمعیتی ۴۱۸ نفر در هکتار بوده که آن را به یکی از متراکم‌ترین بافت‌های شهری پایتخت بدل کرده است. در مقابل، منطقه ۲۲ با وسعت ۵۹ کیلومترمربع و جمعیت ۲۰۷,۵۰۱ نفر، کمترین تراکم جمعیتی را با ۳۵ نفر در هکتار داراست. این منطقه شامل توسعه‌های نوین بوده و فضای سبز گسترده‌ای را در خود جای داده است (TMICTO, 2023). این تفاوت‌های آشکار در ساختار جمعیتی، کالبدی و زیست‌محیطی، سه منطقه منتخب را به نمونه‌های مطالعاتی مناسبی برای بررسی تطبیقی نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری بدل می‌سازد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه‌های مورد مطالعه در شهر تهران

Figure 1- Location of the study areas in the city of Tehran

روش تحقیق

تحلیل تاب‌آوری نظام پیچیده اجتماعی-هیدرولوژیکی، نیازمند تلفیق سنجه‌های آماری قابل مقایسه (رویکرد

کمی) با دیدگاه‌های عمیق و تخصصی کارشناسان (رویکرد کیفی) است. در گام نخست، یک بازننگری نظام‌مند در ادبیات علمی صورت گرفت تا مولفه‌های

کلیدی دو اصل تنوع و افزونگی شناسایی شود. با توجه به اینکه تاب‌آوری صرفاً یک مفهوم فنی نیست، چارچوب مفهومی پژوهش بر پایه پنج بعد کلیدی سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی تدوین شد تا تصویری جامع و چندوجهی از سیستم ارائه دهد. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای ساختاریافته بود که شامل ده گویه در دو بخش اصلی تنظیم گردید؛ به طوری که برای هر اصل (تنوع و افزونگی)، پنج گویه مجزا جهت پوشش دقیق ابعاد مختلف تاب‌آوری طراحی شد.

برای گردآوری نظام‌مند داده‌های ادراکی از جامعه متخصصان، ابزار پرسشنامه ساختاریافته انتخاب گردید. با توجه به ماهیت میان‌رشته‌ای موضوع، عناصری از علوم اجتماعی، مدیریت بحران و هیدرولوژی در قالب پرسشنامه و بر اساس طیف پنج‌گزینه‌ای لیکرت (از ۱=کاملاً مخالفم تا ۵=کاملاً موافقم) تلفیق شد تا امکان کمی‌سازی و مقایسه آماری دیدگاه‌ها فراهم آید

(Shariatyniya et al., 2025) (جدول ۱). کیفیت ابزار پژوهش از دو طریق مورد ارزیابی قرار گرفت. نخست، برای اطمینان از روایی محتوای پرسشنامه، گویه‌ها توسط جمعی از متخصصان حوزه تاب‌آوری و مدیریت آب بازبینی شدند تا تضمین شود که مفاهیم موردنظر به درستی نمایندگی می‌شوند. سپس، پایایی ابزار از طریق اجرای پیش‌آزمون و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ارزیابی شد. جامعه آماری پژوهش شامل مدیران، کارشناسان و مسئولان نهادهای دولتی و خصوصی مرتبط با مدیریت منابع و زیرساخت‌های آب در مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ شهرداری تهران بود. معیار ورود افراد به مطالعه، داشتن سابقه کار تخصصی یا مدیریتی در این حوزه بود. با توجه به ماهیت تخصصی و شبکه‌ای جامعه آماری و عدم وجود یک فهرست جامع که امکان نمونه‌گیری احتمالی را فراهم آورد، از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند از نوع گلوله‌برفی استفاده شد.

جدول ۱- گویه‌های پرسشنامه تاب‌آوری، تنوع و افزونگی نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق شهری تهران
Table 1- Questionnaire items for the resilience, diversity, and redundancy of the socio-hydrological system in Tehran's urban districts

ابعاد	گویه‌ها	شرح
تنوع	سرمایه انسانی	تعاملات اجتماعی قوی همچون تشکیل شوراهای آب، برگزاری کارگاه‌های آموزشی، مشارکت در پروژه‌های تحقیقاتی بین شهروندان، نهادهای دولتی و بخش خصوصی برای مدیریت بهینه منابع آب وجود دارد.
	سرمایه اقتصادی	شهر تهران به منابع آبی متنوعی (سطحی، زیرزمینی و پساب تصفیه شده) وابسته است.
	سرمایه نهادی	نهادهای مختلفی از جمله شرکت آب و فاضلاب، سازمان محیط زیست و شهرداری مسئولیت مدیریت منابع آب را بر عهده دارند.
	سرمایه زیرساختی	شهر تهران دارای سیستم‌های متنوعی برای جمع‌آوری و استفاده مجدد از پساب است.
افزونگی	سرمایه اجتماعی	شهروندان تهرانی به اهمیت مدیریت پایدار منابع آب آگاه هستند و در این زمینه مشارکت فعال دارند.
	سرمایه انسانی	شهر تهران دارای شبکه گسترده‌ای از نیروی انسانی متخصص و آموزش‌دیده کافی در حوزه مدیریت بحران آب است.
	سرمایه اقتصادی	شهر تهران دارای ذخایر مالی برای اجرای پروژه‌های اضطراری، خرید تجهیزات و مواد موردنیاز و حمایت از آسیب‌دیدگان جهت مقابله با بحران‌های آبی است.
	سرمایه زیرساختی	میان نهادهای مختلف مسئول در مدیریت منابع آب، به‌ویژه در شرایط بحرانی، هماهنگی و همکاری بالایی وجود دارد.
سرمایه اجتماعی	سرمایه زیرساختی	شهر تهران دارای ظرفیت اضافی در شبکه آبرسانی، تصفیه‌خانه‌ها و مخازن ذخیره آب در مواقع اوج مصرف یا در صورت بروز اختلال در سیستم است.
	سرمایه اجتماعی	وجود اعتماد عمومی به نهادهای مسئول مدیریت آب در زمان بحران به بسیج منابع و همکاری شهروندان کمک کرده است.

در نهایت، نتایج این تحلیل‌های آماری در قالب نمودارها و جداول خلاصه و جهت ارائه و تفسیر آماده گردید. رویکرد چندبعدی اتخاذ شده در این پژوهش، امکانی فراهم ساخت تا مسئله پیچیده تاب‌آوری در نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی به صورتی جامع و چندسطحی تحلیل شود. انتخاب سه منطقه با ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی متنوع، ظرفیت تحلیل تطبیقی یافته‌ها را افزایش داده و به درک عمیق‌تری از نقش زمینه در شکل‌دهی به تاب‌آوری کمک کرده است. مدل مفهومی تحقیق که بر اهمیت تعادل میان تنوع و افزونگی تأکید داشت، به عنوان چارچوبی برای تفسیر نتایج و شناسایی نقاط قوت و ضعف هر منطقه عمل نمود. در واقع، این رویکرد پژوهشی با شناسایی شکاف‌های موجود، راه را برای سیاست‌گذاری‌های آگاهانه و طراحی سازوکارهای انعطاف‌پذیر در برابر بحران آب هموار می‌سازد و نتایج حاصل از آن می‌تواند بستری علمی برای توسعه رویکردهای یکپارچه و پایدار در مدیریت آب کلان‌شهرها باشد.

نتایج

ابتدا به تحلیل پایایی ابزار پژوهش پرداخته شد و برای ارزیابی پایایی پرسشنامه، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. مقدار به دست آمده برای کل پرسشنامه برابر با $\alpha = 0.89$ بود که نشان‌دهنده همسانی درونی بسیار خوب بین گویه‌ها و قابلیت اطمینان بالای ابزار پژوهش است. این نتیجه، اعتبار داده‌های گردآوری شده را برای تحلیل‌های بعدی تأیید می‌کند. در ادامه، نتایج آزمون کروسکال-والیس برای بعد تنوع (جدول ۳ و شکل ۲) نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین سه منطقه در مجموع وجود ندارد ($p = 0.577$)، این بدان معناست که میزان تنوع در نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی این مناطق تفاوت چشمگیری ندارد. با این حال، تحلیل دقیق‌تر زیرابعاد نشان داد که در بعد سرمایه اجتماعی تنوع، تفاوت معنی‌داری میان مناطق

این روش به پژوهشگر امکان می‌دهد تا با شناسایی افراد کلیدی و مطلع در یک شبکه تخصصی، به سایر متخصصان واجد شرایط دسترسی یابد و حجم نمونه‌ای متناسب با عمق و ماهیت پژوهش را گردآوری کند (Ghorbani et al., 2024). فرآیند نمونه‌گیری با شناسایی چند فرد کلیدی و مطلع در هر منطقه آغاز گردید و از ایشان خواسته شد تا متخصصان واجد شرایط دیگر را معرفی نمایند. این زنجیره معرفی تا رسیدن به حجم نمونه موردنظر ادامه یافت. در نهایت، در مجموع ۲۷ پرسشنامه تکمیل‌شده و قابل تحلیل گردآوری شد که به صورت مساوی بین سه منطقه توزیع گردیده بود (۹ پرسشنامه از هر منطقه) (جدول ۲). پس از تکمیل پرسشنامه‌ها، داده‌ها جهت پردازش‌های آماری وارد نرم‌افزارهای SPSS و Excel شدند. در گام نخست، پیش از اقدام به آزمون فرضیه‌ها، فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک ارزیابی گردید. با توجه به حجم نمونه کوچک ($N=27$)، نتایج آزمون شاپیرو-ویلک به عنوان ملاک اصلی تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد (Arguelles et al., 2021). نتایج این آزمون نشان داد که سطح معنی‌داری برای اغلب گویه‌ها کمتر از ۰/۰۵ بود، که بیانگر عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها است (Bafarasat, 2021). به همین دلیل، استفاده از آزمون‌های پارامتری مانند ANOVA نامعتبر بود. بنابراین، برای مقایسه میانگین رتبه‌ای دیدگاه پاسخ‌دهندگان در ابعاد مختلف پرسشنامه بین سه منطقه مستقل، از آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس استفاده شد (Popoola et al., 2021). معنی‌داری تفاوت‌ها در سطح ۰/۰۵ ارزیابی شد تا مشخص گردد که آیا دیدگاه‌های جامعه آماری در مناطق سه‌گانه نسبت به هر یک از گویه‌ها تفاوت آماری معنی‌داری دارد یا خیر. این تحلیل‌ها، تفاوت‌ها و شباهت‌های عملکردی را در بعدهای مختلف سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی مقایسه کرده و امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف هر منطقه را فراهم آورد.

وجود دارد ($p=0/003$). منطقه ۲۲ با میانگین رتبه ۱۹/۶۷ بهترین عملکرد را در این بعد داشت، به دنبال آن منطقه ۱۰ با ۱۴/۶۱ و سپس منطقه ۴ با ۷/۷۲ قرار گرفتند. در سایر زیرابعد مانند سرمایه انسانی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی تنوع تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0/05$)، اما میانگین رتبه‌ها حاکی از آن است که منطقه ۲۲ و منطقه ۴ وضعیت نسبتاً بهتری در زیرابعد اقتصادی و زیرساختی دارند.

جدول ۲- اسامی سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با آب شهری به تفکیک مناطق مورد مطالعه

Table 2- List of organizations and institutions related to urban water, categorized by study districts

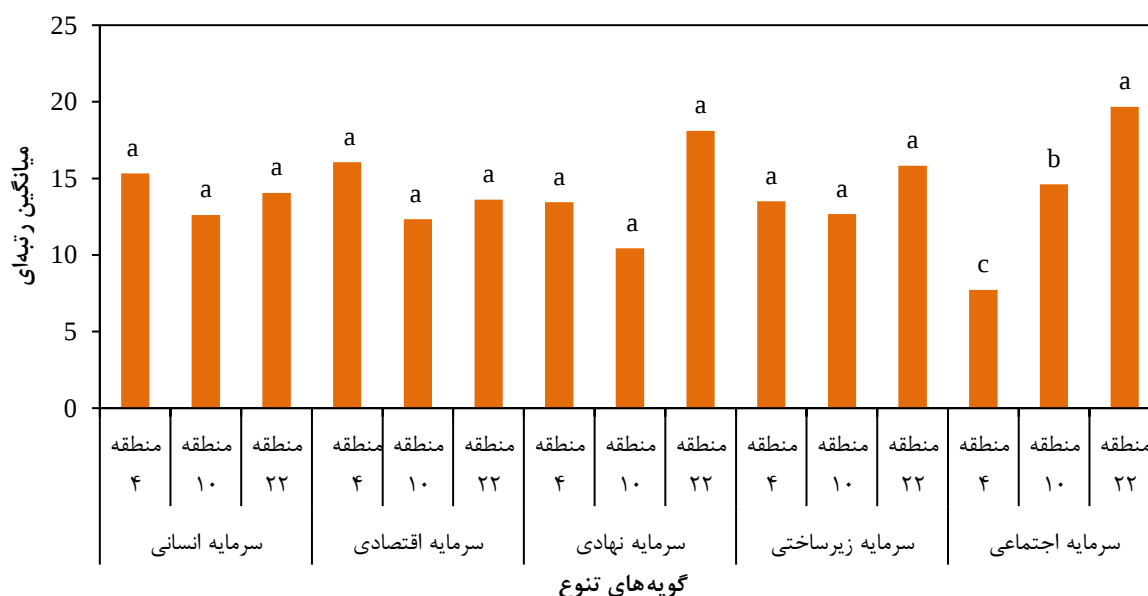
ردیف	مناطق شهری تهران	نام سازمان/نهاد
1	منطقه 4	دانشگاه علم و صنعت
2		شهرداری
3		ستاد مدیریت بحران آب و فاضلاب
4		سرای محله
5		بیمارستان رسالت
6		شرکت آب و فاضلاب (آبفای منطقه 2)
7		اداره مدیریت پسماند
8		اداره مدیریت بحران شهرداری
9		اداره آموزش و پرورش
10	منطقه 10	دانشگاه سوره
11		شهرداری
12		ستاد مدیریت بحران آب و فاضلاب
13		سرای محله
14		بیمارستان بهارلو
15		شرکت آب و فاضلاب (آبفای منطقه 5)
16		اداره مدیریت پسماند
17		اداره مدیریت بحران شهرداری
18		اداره آموزش و پرورش
19	منطقه 22	دانشگاه علامه طباطبایی
20		شهرداری
21		ستاد مدیریت بحران آب و فاضلاب
22		سرای محله
23		بیمارستان ترتیا
24		شرکت آب و فاضلاب غرب تهران (آبفای منطقه 3)
25		اداره مدیریت پسماند
26		اداره مدیریت بحران شهرداری
27		اداره آموزش و پرورش

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین بعد تنوع در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس

Table 3- Results of the Kruskal-Wallis mean ranks comparison test for the diversity dimension in the studied regions

بعد	گویه	مناطق	میانگین رتبه‌ای	Chi-Square	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
تنوع	سرمایه انسانی	4	15.33	0.592	2	0.744*
		10	12.61			
		22	14.06			
	سرمایه اقتصادی	4	16.06	1.124	2	0.570
		10	12.33			
		22	13.61			
	سرمایه نهادی	4	13.44	5.201	2	0.074*
		10	10.44			
		22	18.11			
	سرمایه زیرساختی	4	13.50	0.898	2	0.638*
		10	12.67			
		22	15.83			
	سرمایه اجتماعی	4	7.72	11.806	2	0.003*
		10	14.61			
		22	19.67			

* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد.



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین بعد تنوع در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس

Figure 2- Results of comparing the mean ranks for the diversity dimension in the study areas using the Kruskal-Wallis test

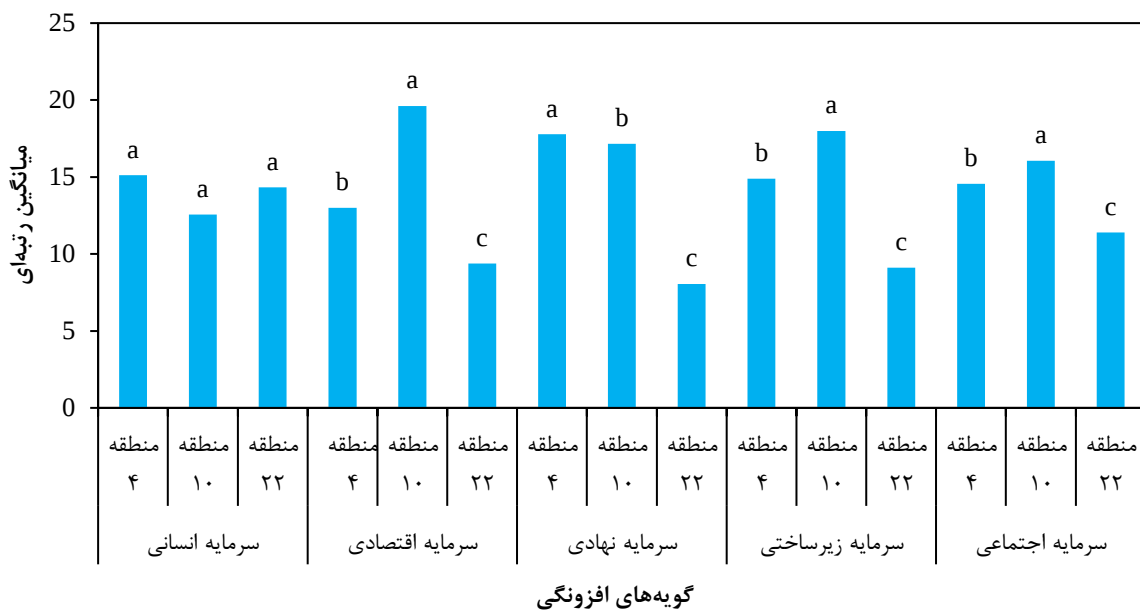
۱۰ (۱۷/۱۶) رتبه‌هایی به مراتب بالاتر از منطقه ۲۲ (۸/۰۶) کسب کردند. در بعد زیرساختی نیز، منطقه ۴ با میانگین رتبه ۱۴/۸۹ بالاترین جایگاه را به خود اختصاص داد. در نهایت، بعد سرمایه اجتماعی افزونگی تفاوت معنی‌داری میان مناطق نداشت ($p=0/4$)، هرچند منطقه ۱۰ در این بعد نیز بالاترین میانگین رتبه را دارا بود.

در مقابل، نتایج تحلیل بعد افزونگی (جدول ۴ و شکل ۳) تفاوت کلی معنی‌داری را میان مناطق نشان داد ($p=0/19$). بررسی دقیق‌تر زیربعضها مشخص کرد که این تفاوت در زیربعض اقتصادی ($p=0/14$)، نهادی ($p=0/13$) و زیرساختی ($p=0/33$) از نظر آماری معنی‌داری است. در سرمایه اقتصادی، منطقه ۱۰ (میانگین رتبه ۱۹/۶۱) و پس از آن منطقه ۴، بالاترین رتبه‌ها را داشتند. در بعد نهادی، مناطق ۴ (۱۷/۷۸) و

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین بعد افزونگی در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس
Table 4- Results of the Kruskal-Wallis mean ranks comparison test for the redundancy dimension in the studied regions

بعد	گویه	مناطق	میانگین رتبه‌ای	Chi-Square	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
افزونگی	سرمایه انسانی	4	15.11	0.538	2	0.764*
		10	12.56			
		22	14.33			
	سرمایه اقتصادی	4	13	8.600	2	0.014*
		10	19.61			
		22	9.39			
	سرمایه نهادی	4	17.78	8.695	2	0.013*
		10	17.16			
		22	8.06			
	سرمایه زیرساختی	4	14.89	6.818	2	0.033*
		10	18			
		22	9.11			
	سرمایه اجتماعی	4	14.56	1.831	2	0.400
		10	16.06			
		22	11.39			

* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد.



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین بعد افزونگی در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس
Figure 3- Results of Comparing the Mean Ranks for the Redundancy Dimension in the Study Areas Using the Kruskal-Wallis Test

سه منطقه دارند. منطقه ۲۲ در سرمایه اجتماعی تنوع برتری داشت، در حالی که مناطق ۴ و ۱۰ در ابعاد اقتصادی، نهادی و زیرساختی افزونگی بهتر عمل کردند.

بر اساس نتایج جدول ۵، در مجموع، بعد تنوع تفاوت معنی‌داری میان مناطق نداشت ($p=0/577$)، اما افزونگی بین مناطق معنی‌داری بود ($p=0/019$). این نشان می‌دهد که شاخص‌های افزونگی نقش مهم‌تری در تمایز تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین ابعاد تنوع و افزونگی در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس

Figure 3- Results of comparing the mean ranks for the redundancy dimension in the study areas using the Kruskal-Wallis test

معنی‌داری	درجه آزادی	Chi-Square	میانگین رتبه‌ای	مناطق	بعد
0/577*	2	1/10	13.17	4	تنوع
			12.61	10	
			16.22	22	
0/019*	2	7/93	16.50	4	افزونگی
			17.50	10	
			8	22	

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق مورد مطالعه دارای ماهیتی چندبعدی است و تحقق آن نیازمند نگاهی جامع و تلفیقی به ابعاد فنی، اجتماعی، نهادی و اقتصادی است. در این میان، نقش سرمایه اجتماعی در بعد تنوع در منطقه ۲۲، که ساختار جمعیتی و هویتی در حال شکل‌گیری دارد، به‌خوبی برجسته شد. این نکته، بازتابی از اهمیت راهبردهای مشارکت‌محور و تقویت اعتماد اجتماعی در بافت‌های جدید شهری، به ویژه برای افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری است؛ موضوعی که پژوهش‌هایی چون (Sienkiewicz- Małyjurek, 2022; Graveline & Germain, 2022) نیز بر آن تأکید کرده‌اند و آن را زمینه‌ساز بروز نوآوری‌های نهادی و اجتماعی در مدیریت منابع آب می‌دانند.

با تحلیل تطبیقی سه منطقه در زیرابعاد دیگر تنوع (انسانی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی) مشخص شد که پیکره نهادی و ساختاری مناطق شهری تهران نسبتاً همگن است و این واقعیت، بیانگر سیاست‌های تمرکزگرا و توسعه نامتوازن در سطح کلان‌شهر تهران و سیستم مدیریت منابع آب شهری است (Delavari, Edalat & Abdi, 2015; Kolahi et al., 2024). نبود تفاوت معنی‌داری در این زیرابعاد، با P-value بالاتر از

۰/۰۵، نشان می‌دهد که پتانسیل بهره‌وری از تنوع در ابعاد غیرسرمایه اجتماعی برای تاب‌آوری منابع آب شهری هنوز به صورت جدی مورد استفاده قرار نگرفته و زمینه‌های ارتقاء این مؤلفه‌ها نیازمند بازبینی سیاست‌ها و توزیع عادلانه‌تر منابع در زمینه آب است. تحلیل داده‌های افزونگی نشان داد که مناطقی با پیشینه و زیرساخت‌های قوی‌تر، از لحاظ اقتصادی و نهادی نیز در حوزه خدمات آب شهری عملکرد بهتری دارند. این یافته‌ها به وضوح نشان‌دهنده ارتباط مستقیم میان بعد زیرساختی و توانایی سیستم در تضمین استمرار عملکرد است. برتری قابل توجه بعد افزونگی در مناطق ۴ و ۱۰ با p-value معنی‌دار ۰/۰۱۹، در حوزه‌های اقتصادی (p=۰/۰۱۴)، نهادی (p=۰/۰۱۳) و زیرساختی (p=۰/۰۳۳)، مؤید نقش حیاتی افزونگی در کاهش آسیب‌پذیری در موقعیت‌های بحرانی است. به طور خاص، منطقه ۱۰ با توجه به دسترسی بالاتر به منابع مالی و ظرفیت تأمین هزینه‌های اضطراری، و منطقه ۴ به دلیل سابقه زیرساختی و شبکه نهادی گسترده‌تر، برتری آشکاری نسبت به منطقه ۲۲ در تأمین و مدیریت منابع آب شهری داشتند. این نتایج هم‌راستا با مطالعات (Berger et al., 2021; Khan et al., 2024) است که نقش افزونگی زیرساختی و نهادی را در تداوم عملکرد سیستم‌های تأمین و توزیع آب شهری حیاتی دانسته و آن را عامل کاهش آسیب‌پذیری

در موقعیت‌های بحرانی مرتبط با منابع آب معرفی می‌کند.

همچنین، بررسی سطح همکاری نهادی و مشارکت بین سازمان‌های مسئول در حوزه آب نشان داد که قدرت مدیریت بحران منابع آب شهری در مناطق ۴ و ۱۰ به دلیل وجود شبکه ارتباطی قوی‌تر میان نهادهای اجرایی و حاکمیتی تقویت شده است. این عامل سبب تسریع در تصمیم‌گیری، هم‌افزایی منابع و تسهیل برنامه‌ریزی‌های واکنش سریع در مواقع بحران کم‌آبی می‌شود (Moshtagh & Mohsenpour, 2019). نبود این سطح همکاری در منطقه ۲۲، زمینه‌ساز آسیب‌پذیری سیستم و تأخیر در واکنش‌های مؤثر در هنگام بحران آبی است. بر این اساس، توسعه سازوکارهای ارتباطی و ایجاد سازوکارهای مشارکتی میان نهادها برای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری به عنوان اولویتی اساسی پیشنهاد می‌شود.

از منظر اجتماعی، تحقیقات نشان داده‌اند که سرمایه اجتماعی در مناطق نوظهور مانند منطقه ۲۲، علی‌رغم فقدان زیرساخت‌های قدیمی و سابقه حکمرانی، می‌تواند عامل تقویت ظرفیت جمعی و ایجاد تاب‌آوری پویا در مدیریت منابع آب شهری باشد. این موضوع به‌ویژه زمانی معنا پیدا می‌کند که روابط غیررسمی، شبکه‌های محلی و مشارکت مردم در خلق راه‌حل‌های خلاقانه برای مقابله با بحران آب و بهبود سیاست‌های مدیریت آب اثرگذارند (Graveline & Germain, 2022). این ویژگی در مناطق متراکم شهری کمرنگ‌تر است اما قابلیت احیا و توسعه برای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری را دارد.

در عین حال باید توجه داشت که تاب‌آوری منابع آب شهری در مناطق مورد مطالعه، تحت تأثیر چالش‌هایی نظیر ضعف داده‌های سازمانی درباره مصرف و توزیع آب، فقدان اتصال مؤثر میان سیاست‌های ملی آب و اجرا در سطح منطقه‌ای، و محدودیت‌های ساختاری-

جمعیتی قرار دارد. به بیان دیگر، حتی اگر در بخش‌هایی از زیرساخت یا سرمایه اجتماعی برای آب شهری تقویت حاصل شود، پایدارسازی ظرفیت تاب‌آوری منابع آب بدون حل مشکلات حکمرانی، سیاست‌گذاری و هم‌افزایی میان سازمان‌ها و ذینفعان امکان‌پذیر نخواهد بود (O'Connell, 2017; Esposito, 2025). این یافته‌ها تأکید می‌کند که تنها راه افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری تهران، یکپارچه‌سازی تلاش‌ها، بهره‌گیری از دانش بومی مناطق و مشارکت مؤثر ذینفعان در همه سطوح مدیریت آب است.

نکته قابل اعتنا دیگر، ارتباط مستقیم میان تنوع ساختارهای اجتماعی و اقتصادی و توانایی مناطق برای مواجهه و سازگاری با تنش‌های بیرونی مرتبط با مدیریت منابع آب شهری است. مناطقی که فرصت بیشتری برای توسعه مناسبات اجتماعی نوین حول محور آب داشته‌اند، می‌توانند انعطاف‌پذیری بیشتری در مصرف و حفاظت از منابع آب نشان دهند و گزینه‌های متنوع‌تری برای مدیریت بحران آب پیش رو داشته باشند. تنوع به عنوان قابلیت برای خلق مسیرهای جایگزین در تأمین و مصرف آب و خروج از وضعیت‌های بسته عمل می‌کند، در حالی که افزونگی با تضمین وجود منابع و ظرفیت‌های جایگزین، تداوم و پایداری عملکرد سامانه آب شهری را در بلندمدت تضمین می‌کند (Li et al., 2020; Pietrucha- Urbanik & Rak, 2023).

در نهایت، باید تأکید کرد که یکی از مهم‌ترین موانع افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری، ضعف در تحقق حکمرانی مشارکتی آب و فقدان سیاست‌های سیستمی در مدیریت منطقه‌ای منابع آب است. هرچند زیرساخت‌ها و منابع مادی اهمیت زیادی دارند، اما بدون توسعه سیاست‌های اجتماعی، آموزش، شفافیت داده و انعطاف‌پذیری نهادی، تاب‌آوری بلندمدت منابع

مکانی و اجتماعی هر منطقه را فراهم می‌آورد؛ راهکاری که می‌تواند کاستی‌های تصمیم‌گیری متمرکز را در مواجهه با بحران‌های چندبعدی منابع آب شهری تا حد زیادی برطرف سازد.

بر پایه این ارزیابی می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که موفقیت راهبردهای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری در کلان‌شهر تهران، تنها با ادغام سیاست‌های تقویت سرمایه اجتماعی نواحی جدید، بهبود شبکه همکاری‌های نهادی، و ارتقاء سطح افزونگی اقتصادی و زیرساختی محقق خواهد شد. به عنوان مثال، برای تحقق حکمرانی مشارکتی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تقویت شبکه‌های اجتماعی غیررسمی در منطقه ۲۲ و ایجاد سازوکارهای شفاف برای تبادل داده و اطلاعات میان سازمان‌ها در مناطق ۴ و ۱۰ به دلیل انسجام بالاتر نهادی، می‌تواند به عنوان نقطه شروعی برای این رویکرد باشد. این دیدگاه منطقه‌محور باید بر رویکردهای متمرکز غلبه کند و مدیران شهری را به اتخاذ برنامه‌هایی متناسب با ویژگی‌ها و ظرفیت‌های واقعی هر منطقه در حوزه مدیریت منابع آب شهری هدایت نماید.

از نظر کاربردی، این پژوهش پاسخی است به این سؤال که چگونه می‌توان تاب‌آوری منابع آب شهری را ارزیابی و برای آن برنامه‌ریزی کرد. چارچوب مفهومی و روش ارائه‌شده در این مطالعه می‌تواند به عنوان مدل بومی‌سازی‌شده برای سنجش، سیاست‌گذاری و افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری در سایر کلان‌شهرها به کار رود و نقشه راهی جهت ارزیابی و بهبود تاب‌آوری آب شهری در مقیاس‌های مختلف فراهم کند. به علاوه، یافته‌ها نشان داد که تحقق تاب‌آوری پایدار منابع آب شهری تنها زمانی ممکن خواهد بود که حکمرانی مشارکتی، شفافیت و تعامل سازنده میان همه ذینفعان مدیریت آب شهری به‌عنوان اصول محوری مورد توجه قرار گیرد و سیاست‌گذاری آب شهری بر محور مشارکت و هم‌افزایی پیش رود.

با وجود مزیت‌های علمی و عملیاتی این پژوهش، محدودیت‌هایی نیز وجود داشته است که باید در

آب شهری امکان‌پذیر نخواهد بود (Olfert et al., 2021; Bagheri et al., 2022). موفقیت در عرصه تاب‌آوری منابع آب شهری تهران وابسته به پذیرش چندبعدی بودن چالش‌ها و یافتن راه‌حل‌های متناسب با بافت و ساختار هر منطقه است؛ این شیوه، تضمین‌کننده پایداری و امنیت منابع حیاتی آب شهر در افق بلندمدت خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر با هدف تبیین نقش دو مؤلفه بنیادین، یعنی تنوع و افزونگی، در ارتقاء تاب‌آوری در نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق شهری تهران انجام شد. این پژوهش به صورت مستقیم به این پرسش پاسخ داد که چگونه این دو اصل در مناطق مختلف شهری عمل می‌کنند و چه تأثیری بر تاب‌آوری منابع آب شهری دارند. ارزیابی تطبیقی مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ نشان داد که تاب‌آوری منابع آب، پدیده‌ای چندعاملی و پویا است که نه صرفاً بر پایه برتری یک شاخص خاص، بلکه از طریق هم‌افزایی مؤلفه‌های انسانی، نهادی، زیرساختی و اقتصادی حاصل می‌شود. نتایج این پژوهش، نه تنها تصویری روشن از نقاط قوت و ضعف تاب‌آوری منابع آب شهری در مناطق مورد مطالعه ارائه داد، بلکه آشکار ساخت که دستیابی به تاب‌آوری پایدار منابع آب شهری بدون پیوند مؤثر میان ظرفیت‌های بومی و قابلیت‌های ساختاری مناطق مختلف میسر نیست.

دست‌آورد مهم این پژوهش که به سؤال اصلی تحقیق پاسخ می‌دهد، اثبات این واقعیت بود که افزایش تنوع در سرمایه اجتماعی به‌ویژه در مناطق نوظهور، سبب فعال شدن ظرفیت‌های مشارکت جمعی و تقویت ابتکار عمل در تاب‌آوری منابع آب شهری می‌شود؛ در حالی که افزونگی منابع اقتصادی، زیرساختی و نهادی، شرط اساسی تداوم عملکرد و پایداری خدمات حیاتی مربوط به آب شهری در مناطق متراکم و با پیشینه قدیمی‌تر به شمار می‌رود. ترکیب این دو رویکرد، زمینه خلق سیاست‌های منطقه‌محور و متناسب با ویژگی‌های

پژوهش حاضر، تلاشی است در مسیر توسعه مدل‌ها و راهبردهای نوین مدیریت منابع آب شهری و افزایش پایداری و امنیت آب شهرها در مواجهه با بحران‌های محیطی و اجتماعی، که می‌تواند مورد استفاده مدیران، پژوهشگران و تمامی کنشگران توسعه شهری قرار گیرد.

سیاسگزاری

این مقاله با حمایت‌های مالی و علمی مرکز تحقیقات حکمرانی منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسیده است. لذا نویسندگان از حمایت‌های این مرکز کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد؛ ازجمله تمرکز بر سه منطقه منتخب و تکیه بر داده‌های ادراری متخصصان، که می‌تواند قابلیت تعمیم‌پذیری نتایج را محدود کند. بنابراین، توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی، ضمن پوشش جغرافیایی وسیع‌تر و استفاده از رویکردهای تلفیقی کمی-کیفی و داده‌های میدانی و شبکه‌ای، به افزایش اعتبار و غنای تحلیل تاب‌آوری منابع آب شهری پرداخته شود.

در نهایت، دستیابی به شهری تاب‌آور از منظر منابع آب شهری، نیازمند طراحی و اجرای سیاست‌هایی است که ظرفیت‌های انسانی، نهادی و ساختاری هر منطقه را به رسمیت بشناسد و با رویکردی ترکیبی، زمینه ارتقاء تاب‌آوری منابع آب در سطح محلی را فراهم کند.

References

- Anamaghi, S., Behboudian, M., Mahjouri, N., & Kerachian, R. (2023). A resilience-based framework for evaluating the carrying capacity of water and environmental resources under climate change. *Science of the Total Environment*, 902, 165986. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165986>
- Ardalan, A., Khaleghy Rad, M., & Hadi, M. (2019). Urban Water Issues in the Megacity of Tehran. In: Ray, B., Shaw, R. (eds) *Urban Drought. Disaster Risk Reduction*. Springer, Singapore, 263-288. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8947-3_16
- Arguelles, G. R., Shin, M., Lebrun, D. G., Kocher, M. S., Baldwin, K. D., & Patel, N. M. (2021). The majority of patient-reported outcome measures in pediatric orthopaedic research are used without validation. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 41(1), 74-79.
- Bafarasat, A. Z. (2021). Is our urban water system still sustainable? A simple statistical test with complexity science insight. *Journal of Environmental Management*, 280, 111748. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111748>
- Bagheri, M., Mokhtari Hashi, H., Gandomkar, A., & Khademolhosseini, A. (2022). The effect of water crisis on the destruction of the foundations of life; Case study: land subsidence in Isfahan province. *Political Organizing of Space*, 4(4), 363-386 <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26455145.2022.4.4.7.3> (In Persian)
- Berger, C., Eichhammer, P., Reiser, H. P., Domaschka, J., Hauck, F. J., & Habiger, G. (2021). A survey on resilience in the iot: Taxonomy, classification, and discussion of resilience mechanisms. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(7), 1-39. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.02328>
- Borah, G. (2025). Urban water stress: climate change implications for water supply in cities. *Water Conservation Science and Engineering*, 10(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s41101-025-00344-5>
- Delavari Edalat, F., & Abdi, M. R. (2015). Constraints on the adoption of adaptive water management principles: the case of greater Tehran. *Water Resources Management*, 29(15), 5569-5591. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1135-3>. (In Persian)
- Dowlati, M., Seyedin, H., Behnami, A., Marzban, A., & Gholami, M. (2023). Water resources resilience model in climate changes with community health approach: Qualitative study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100521. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100521>
- Esposito, D. (2025). A Ladder of Urban Resilience: An Evolutionary Framework for Transformative Governance of

- Communities Facing Chronic Crises. *Sustainability*, 17(13), 6010. <https://doi.org/10.3390/su17136010>
- Fitrianto, A. R., & Viola, H. A. (2023). City resilience strategies in dealing with the aftermath of the COVID-19 pandemic: Using socio-ecological systems. *Digital Theory, Culture & Society*, 1(1), 23-32. <https://doi.org/10.61126/dtcs.v1i1.6>
- Ghorbani, M. (2024). *Research Methods in Socio-Ecological Systems*. First Edition, Tehran University Press, 783 pages.
- Ghorbani, M., Bagheri Fahraji, R., Alam Baigi, A., Khaliqi Cigaroodi, S., & Yazdanparast, M. (2024). Measuring the Multi-Level Resilience Based on Social Heterogeneity Faced with Drought in Rangeland Users. *International Journal of Environmental Research*, 18(2), 23. <https://doi.org/10.1007/s41742-024-00573-x>
- Graveline, M. H., & Germain, D. (2022). Disaster risk resilience: conceptual evolution, key issues, and opportunities. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13(3), 330-341. <https://doi.org/10.1007/s13753-022-00419-0>
- Gu, J., Sun, S., Wang, Y., Li, X., Yin, Y., Sun, J., & Qi, X. (2021). Sociohydrology: An effective way to reveal the coupled evolution of human and water Systems. *Water Resources Management*, 35(14), 4995-5010. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02984-3>
- Hamidifar, H. (2024). Water Crisis in Iran: Causes, Consequences, and Solutions. In *Water Crises and Sustainable Management in the Global South* (pp. 85-109). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4966-9_3 (In Persian)
- Javadinejad, S., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., Nekooei, M., Azam, N., Talebmorad, H., Hasantabar-Amiri, A., & Mousavi, M. (2020). Relationship between climate change, natural disasters, and resilience in rural and urban societies. In *Handbook of climate change resilience* (pp. 607-631). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93336-8_189 (In Persian)
- Khan, T., Samiullah, M., Rouf, I., Sultana, S., Rahman, S., Rahman, B., & Khanum, R. (2024). The nexus of water scarcity and climate change: understanding interconnected challenges and formulating resilient strategies. *International Journal of Environmental Sciences*, 7(3), 57-68. <https://doi.org/10.47604/ijes.2915>
- Kolahi, M., Davary, K., & Omranian Khorasani, H. (2024). Integrated approach to water resource management in Mashhad Plain, Iran: actor analysis, cognitive mapping, and roadmap development. *Scientific Reports*, 14(1), 162. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50697-x>
- Krueger, E. H., Borchardt, D., Jawitz, J. W., & Rao, P.S.C. (2020). Balancing security, resilience, and sustainability of urban water supply systems in a desirable operating space. *Environmental Research Letters*, 15(3), 035005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6c2d>
- La Vigna, F. (2022). Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeology Journal*, 30(6), 1657-1683. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02517-1>
- Li, T., Dong, Y., & Liu, Z. (2020). A review of social-ecological system resilience: Mechanism, assessment and management. *Science of the Total Environment*, 723, 138113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138113>
- Mirzavand, M., & Bagheri, R. (2020). The water crisis in Iran: Development or destruction? *World Water Policy*, 6(1), 89-97. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12023>
- Moghaddam, H. K., Abtahizadeh, E., & Abolfathi, S. (2025). Sustainable water allocation under climate change: Deep learning approaches to predict drinking water shortages. *Journal of Environmental Management*, 385, 125600. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125600>
- Mohammadian, S., Heydari, A., & Rahimi, M. (2025). Water Resources Governance System within the Framework of Iran's Seventh Development Plan: Application of Institutional Network Analysis. *Natural Resources Governance*, 2(1), 91-112. <http://doi.org/10.22059/jnrg.2025.396798.1038> (In Persian)

- Mohammadian, S., Ghorbani, M., Malekian, A., Mohammadi, A. & Rahimi, M. (2024). Analysis of the urban water governance network structure in Tehran: identification of key actors and governance regime. *Natural Resources Governance*, 1(4), 379-388. <http://doi.org/10.22059/JNRG.2025.102732> (In Persian)
- Moshtagh, M., & Mohsenpour, M. (2019). Community viewpoints about water crisis, conservation and recycling: a case study in Tehran. *Environment, Development and Sustainability*, 21(6), 2721-2731. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0158-3> (In Persian)
- O'Connell, E. (2017). Towards adaptation of water resource systems to climatic and socio-economic change. *Water Resources Management*, 31(10), 2965-2984. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1734-2>
- Olfert, A., Walther, J., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., & Schiller, G. (2021). Sustainability and resilience—A practical approach to assessing sustainability in innovative infrastructure projects. In *Building Resilience to Natural Hazards in the Context of Climate Change: Knowledge Integration, Implementation and Learning* (pp. 75-111). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33702-5_5
- Pietrucha-Urbanik, K., & Rak, J. (2023). Water, resources, and resilience: insights from diverse environmental studies. *Water*, 15(22), 3965. <https://doi.org/10.3390/w15223965>
- Popoola, A., Magidimisha-Chipingu, H., Chipungu, L., Adeleye, B., Akogun, O., & Medayese, S. (2021). Household water stress, adaptation and resilience in some selected peri-urban and rural communities of Oyo State, Nigeria. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 654, No. 1, p. 012006). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/654/1/012006>
- Prakash, A., George, R., & Barua, A. (2025). Socio-hydrological frameworks for adaptive governance: addressing climate uncertainty in South Asia. *Frontiers in Water*, 7, 1556820. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1556820>
- Rehak, D., Senovsky, P., & Slivkova, S. (2018). Resilience of critical infrastructure elements and its main factors. *Systems*, 6(2), 21. <http://doi.org/10.3390/systems6020021>
- Rodina, L., & Chan, K. M. A. (2019). Expert views on strategies to increase water resilience: Evidence from a global survey. *Ecology and Society*, 24(4), 28. <https://doi.org/10.5751/es-11302-240428>
- Rosso, R. (2025). On Seven Principles of Water Governance. *Water*, 17(6), 896. <https://doi.org/10.3390/w17060896>
- Shariatyniya, L., Ghorbani, M., Azarnivand, H., & Rahimi, M. (2025). Resilience through Relationships: Evaluating rangeland governance structures in semi-arid Tafresh county. *Journal of Arid Environments*, 229, 105397. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2025.105397> (In Persian)
- Shi, X., Sun, W., Voß, S., Jin, J. (2020). Smart City: A Perspective of Emergency and Resilience at a Community Level in Shanghai. In: Lalla-Ruiz, E., Mes, M., Voß, S. (eds) *Computational Logistics. ICCL 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12433. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59747-4_34
- Sienkiewicz-Małyjurek, K. (2022). Social capital and transformational leadership in building the resilience of local governance networks. *Sustainability*, 14(8), 4720. <https://doi.org/10.3390/su14084720>
- Talebi, M. (2023). Water crisis in iran and its security consequences. *Journal of Hydraulic Structures*, 8(4), 17-28. <https://doi.org/10.22055/jhs.2023.42638.1239> (In Persian)
- Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization (TMICTO), 2023.
- Van Meerbeek, K., Jucker, T., & Svenning, J. C. (2021). Unifying the concepts of stability and resilience in ecology. *Journal of Ecology*, 109(9), 3114-3132. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13651>
- Zeng, X., Yu, Y., Yang, S., Lv, Y., & Sarker, M. N. I. (2022). Urban resilience for urban sustainability: Concepts, dimensions, and perspectives. *Sustainability*, 14(5), 2481. <https://doi.org/10.3390/su14052481>

Optimizing Agricultural Land Use to Mitigate Soil Degradation in the Saravan Plain

Babak Khosravi Majd¹, Mohammad Reza Rigi^{1*}, Seyed Reza Amiri², Mojtaba Mohamadi¹

1. Department of Desert Management and Control, Faculty of Environmental Sciences, Planning and Sustainable Development, University of Saravan, Saravan, Iran

2. Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Saravan, Saravan, Iran

* Corresponding author: mr.rigi@saravan.ac.ir

(Received: 26 July 2025

Revised: 16 August 2025

Accepted: 12 October 2025)

Extended Abstract

Introduction: Land degradation in arid and semi-arid regions, poses a serious challenge to sustainable agriculture and ecosystem health. Approximately 100 million hectares of Iranian land are currently exposed to desertification, driven by both natural and anthropogenic factors. Agricultural activities, while essential for food security, often contribute to soil degradation through practices such as over-cultivation, improper irrigation, and excessive use of chemical inputs. In regions like the Saravan Plain, increasing population pressure has led to the conversion of rangelands to agricultural lands without adequate soil management. These land use changes have adversely affected key soil health indicators, including nitrogen (N), organic matter, salinity, and pH, accelerating degradation processes. Understanding the impacts of different agricultural land uses on soil quality is critical for developing sustainable management strategies in arid regions with limited soil resources. This study aimed to evaluate the effects of different agricultural land use types on soil quality indicators in the Saravan Plain and to identify management practices that can mitigate degradation and enhance soil sustainability.

Materials and methods: This field research was conducted in the central part of the Saravan Plain to assess the impact of agricultural land use types on soil degradation. A split-plot design based on a completely randomized block design with three replications was employed to compare four dominant land use types: irrigated monoculture, irrigated polyculture, orchard, and rangeland (as control). Soil samples were collected from two depths (0–40 cm and 40–80 cm) using random sampling to ensure representative coverage of each land use type. Samples were air-dried, passed through a 2 mm sieve, and analyzed using standard laboratory methods. Measured parameters included micronutrients (Mn, Zn, Cu, Fe) via atomic absorption spectrophotometry, electrical conductivity (EC) using a conductivity meter, pH using a pH meter, and organic matter content via the Walkley-Black method. Data were categorized into ameliorative factors (N, P, K, organic matter, sulfate, Mg, Mn, Zn, Cu, Fe, Ca) and degradative factors (chloride, pH, EC). Statistical analysis was performed using ANOVA to examine significant differences between treatments, followed by Duncan's multiple comparison test. All analyses were conducted using SPSS, SAS, and Excel software.

Results and Discussion: The results revealed significant differences in soil quality among the four land use types. In general, irrigated monoculture and polyculture lands exhibited higher levels of ameliorative factors, while rangelands showed higher levels of degradative factors. In the surface layer (0–40 cm), mean organic matter content was significantly higher in monoculture (0.34%) and polyculture (0.30%) lands compared to rangelands (0.18%). Similarly, N levels were significantly higher in monoculture (0.037%) and polyculture (0.032%) compared to rangelands (0.02%). Among degradative factors, pH showed significant differences, with orchards exhibiting the highest acidity (8.23) compared to rangelands (7.71). EC was highest in monoculture lands, likely due to chemical fertilizer application and salt accumulation, showing significant differences from other treatments. Chloride concentration was highest in polyculture lands (59.64 meq/L). In the subsurface layer (40–80 cm), monoculture lands consistently performed better, with organic matter (0.26%) and nitrogen (0.027%) significantly higher than rangelands (0.14% and 0.012%, respectively). Micronutrient analysis revealed that Cu levels in monoculture lands (0.67 mg/kg) were significantly higher than in rangelands (0.21 mg/kg) in the surface layer. Based on a scoring system that integrated all soil quality indicators, monoculture lands received the highest score (+10), indicating the most suitable conditions for soil improvement. In contrast, rangelands received the lowest score (-19), reflecting the least favorable conditions for soil ameliorative properties across both soil layers.

Conclusion: This study demonstrates that agricultural land use type significantly influences soil quality in the Saravan Plain. Irrigated monoculture lands exhibited the greatest potential for soil improvement, as reflected in higher organic matter and N content, along with reduced chloride and pH levels. Conversely, rangelands were the most vulnerable, characterized by the lowest ameliorative factors and the highest degradative factors. These findings underscore the importance of targeted agricultural management practices for improving soil health and reducing desertification risk in arid and semi-arid regions. Future research should focus on long-term monitoring of soil dynamics and validate these findings in other arid regions using complementary technologies such as remote sensing to enhance the generalizability of results.

Keywords: Desertification, Soil fertility, Soil micronutrients, Arid agriculture, Watershed management

Citation: Khosravi Majd, B., Rigi, M. R., Amiri, S. R., & Mohamadi, M. (2026). Optimizing Agricultural Land Use to Mitigate Soil Degradation in the Saravan Plain. *Integrated Watershed Management*, 6(2), 95-109. doi=10.22034/iwm.2025.2066974.1242

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بهینه‌سازی کاربری اراضی کشاورزی برای کاهش تخریب خاک در دشت سراوان

بابک خسروی مجد^۱، محمدرضا ریگی^{۱*}، سیدرضا امیری^۲، مجتبی محمدی^۱

۱. گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده علوم محیطی، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران

۲. گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران.

*نویسنده مسئول: mr.rigi@saravan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

چکیده مبسوط

مقدمه: تخریب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، چالش جدی برای کشاورزی پایدار و اکوسیستم‌ها ایجاد می‌کند. تقریباً ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی ایران در معرض بیابان‌زایی قرار دارند که این پدیده ناشی از عوامل طبیعی و انسانی است. فعالیت‌های کشاورزی، هرچند برای امنیت غذایی ضروری هستند، از طریق روش‌هایی مانند کشت بیش از حد، آبیاری نامناسب و استفاده بیش از اندازه از نهاده‌های شیمیایی، به کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش بیابان‌زایی کمک می‌کنند. در مناطقی مانند دشت سراوان، مراتع برای تأمین نیازهای جمعیتی بدون مدیریت مناسب خاک به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند. این تغییرات بر شاخص‌های سلامت خاک، از جمله نیتروژن، ماده آلی، شوری و pH، تأثیر گذاشته و منجر به تخریب خاک شده است. درک تأثیرات کشاورزی بر تخریب خاک برای توسعه استراتژی‌های کاربری پایدار اراضی در مناطق خشک با منابع خاکی محدود حیاتی است. این مطالعه با هدف شناسایی روش‌های مدیریتی برای کاهش تخریب و افزایش پایداری خاک در دشت سراوان، اثرات انواع مختلف کاربری‌های کشاورزی بر شاخص‌های کیفیت خاک صورت گرفت. در واقع، این پژوهش بر پایه این فرضیه استوار است که انتخاب مناسب نوع کاربری می‌تواند تعادل بین عوامل بهبوددهنده و تخریب‌کننده خاک را برقرار و به سیاست‌گذاران کمک کند تا برنامه‌های بلندمدت برای حفاظت از منابع طبیعی را تدوین نمایند. علاوه بر این، با توجه به تغییرات اقلیمی جهانی که خشکسالی را تشدید می‌کند، چنین مطالعاتی می‌توانند مبنایی برای مدل‌سازی‌های آینده در زمینه مدیریت اراضی فراهم آورند.

مواد و روش‌ها: این پژوهش میدانی در بخش مرکزی دشت سراوان انجام شد تا تأثیر انواع کاربری اراضی کشاورزی بر تخریب خاک ارزیابی شود. از طرح کرت‌های خردشده بر پایه بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار برای مقایسه چهار نوع کاربری غالب اراضی استفاده گردید: تک‌کشتی آبی، چندکشتی آبی، باغی و مرتع (به عنوان شاهد). نمونه‌برداری خاک از دو عمق انجام شد: ۰ تا ۴۰ سانتی‌متر (لایه سطحی) و ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متر (لایه زیرسطحی). از روش نمونه‌برداری تصادفی برای انتخاب مکان‌های نماینده هر نوع کاربری بهره گرفته شد. آماده‌سازی نمونه‌ها شامل خشک کردن در هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری بود. اندازه‌گیری‌های کمی ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی صورت گرفت، از جمله تعیین ریزمغذی‌ها (منگنز، روی، مس، آهن) با اسپکتروفتومتری جذب اتمی، هدایت الکتریکی (EC) با دستگاه هدایت‌سنج، pH با pH متر و محتوای ماده آلی از طریق روش والکلی-بِلک. جمع‌آوری داده‌ها شامل عوامل بهبوددهنده (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ماده آلی، سولفات، منیزیم، منگنز، روی، مس، آهن، کلسیم) و عوامل تخریب‌کننده (کلرید، pH، هدایت الکتریکی) بود. تحلیل آماری با استفاده از آزمون ANOVA برای بررسی تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها، آزمون مقایسه چندگانه دانکن و ترسیم نمودارها با نرم‌افزارهای SPSS، SAS و Excel انجام گردید. این روش‌ها به منظور اطمینان از دقت و قابلیت تکرارپذیری نتایج انتخاب شدند و تمام مراحل نمونه‌برداری و تحلیل بر اساس استانداردهای بین‌المللی خاک‌شناسی انجام شد تا خطاهای احتمالی به حداقل برسد. همچنین، برای افزایش اعتبار پژوهش، شرایط محیطی مانند دما، بارندگی و نوع خاک منطقه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار در کیفیت خاک بین چهار نوع کاربری اراضی بود. اراضی تک‌کشتی و چندکشتی آبی سطوح بالاتری از عوامل بهبوددهنده را نسبت به مراتع نشان دادند، در حالی که مراتع سطوح بالاتری از عوامل تخریب‌کننده داشتند. در لایه سطحی، میانگین محتوای ماده آلی به طور معنی‌دار در اراضی تک‌کشتی (۰/۳۴ درصد) و چندکشتی (۰/۳۰ درصد) بالاتر از مراتع (۰/۱۸ درصد) بود. به طور مشابه، سطوح نیتروژن در تک‌کشتی (۰/۳۷ درصد) و چندکشتی (۰/۳۲ درصد) به طور معنی‌دار بالاتر از مراتع (۰/۰۲ درصد) بود. عوامل تخریب‌کننده مانند pH تفاوت‌های معنی‌داری نشان داد، به طوری که باغات اسیدیته بالاتری (۸/۲۳) نسبت به مراتع (۷/۷۱) داشتند. هدایت الکتریکی در اراضی تک‌کشتی بالاترین مقدار را داشت و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد، که احتمالاً به دلیل کاربرد کودهای شیمیایی و تجمع نمک است. غلظت کلرید در اراضی چندکشتی بالاترین مقدار (۵۹/۶۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر) را داشت. در لایه زیرسطحی، اراضی تک‌کشتی عملکرد بهتری داشتند، با ماده آلی (۰/۲۶ درصد) و نیتروژن (۰/۲۷ درصد) به طور معنی‌دار بالاتر از مراتع (۰/۱۴ درصد و ۰/۱۲ درصد، به ترتیب). تحلیل ریزمغذی‌ها نشان داد که سطوح مس در اراضی تک‌کشتی (۰/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به طور معنی‌دار بالاتر از مراتع (۰/۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) در لایه سطحی بود. پس از امتیازدهی به تیمارها، اراضی تک‌کشتی امتیاز ۱۰+ را دریافت کردند که آنها را به عنوان مناسب‌ترین تیمار برای بهبود شرایط خاک معرفی می‌کند، در حالی که مراتع امتیاز ۱۰- را کسب کردند که نشان‌دهنده کمترین شرایط مناسب برای ویژگی‌های بهبوددهنده خاک در هر دو لایه است. این نتایج با مطالعات قبلی در مناطق خشک همخوانی دارد و تأکید می‌کند که مدیریت آبیاری و انتخاب کشت می‌تواند نقش کلیدی در کاهش اثرات منفی داشته باشد.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که نوع کاربری اراضی کشاورزی به طور معنی‌داری بر کیفیت خاک در دشت سراوان تأثیر می‌گذارد. اراضی تک‌کشتی آبی بهترین عملکرد را در بهبود خاک نشان دادند، با افزایش ماده آلی و نیتروژن در حالی که کلرید و pH کاهش می‌دادند. در مقابل، مراتع آسیب‌پذیرترین بودند با پایین‌ترین عوامل بهبوددهنده و بالاترین عوامل تخریب‌کننده. یافته‌ها از مدیریت هدفمند کشاورزی برای بهبود سلامت خاک و کاهش خطر بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک حمایت می‌کنند. تحقیقات آینده باید تغییرات بلندمدت خاک را نظارت کند و یافته‌ها را در سایر مناطق خشک با استفاده از فناوری‌هایی مانند سنجش از دور اعتباربخشی نماید تا قابلیت تعمیم‌پذیری نتایج تضمین شود. علاوه بر این، این نتایج می‌توانند به سیاست‌گذاران کمک کنند تا برنامه‌های حفاظتی مؤثرتری طراحی کنند.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، حاصلخیزی خاک، ریزمغذی‌های خاک، کشاورزی خشک، مدیریت حوزه آبخیز

استناد: خسروی مجد، ب.، ریگی، م.، امیری، س. ر. و محمدی، م. (۱۴۰۵). بهینه‌سازی کاربری اراضی کشاورزی برای

کاهش تخریب خاک در دشت سراوان. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۶(۲)، ۹۵-۱۰۹.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند ایران، چالشی جدی برای کشاورزی پایدار و اکوسیستم‌ها است. حدود ۱۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های ایران در معرض بیابان‌زایی ناشی از عوامل طبیعی و انسانی قرار دارند (Arrúe et al., 2019). فعالیت‌های کشاورزی، هرچند برای امنیت غذایی ضروری‌اند، اما با روش‌هایی مانند کشت بیش‌ازحد، آبیاری نادرست و استفاده زیاد از نهاده‌های شیمیایی، به کاهش حاصل‌خیزی خاک و افزایش بیابان‌زایی منجر می‌شوند (Follett & Stewart, 1985; Lal, 2001). در مناطقی مانند دشت سراوان، بدون رعایت مدیریت مناسب خاک و جهت تأمین نیازهای جمعیت، مراتع را به زمین‌های زراعی تبدیل کرده‌اند (Netthisinghe et al., 2023). این تغییرات، شاخص‌های سلامت خاک مانند نیتروژن، ماده آلی، شوری و pH را تحت تأثیر قرار داده و به تخریب خاک منجر شده است (Emami et al., 2024). درک تأثیرات کشاورزی بر تخریب زمین برای تدوین استراتژی‌های پایدار کاربری زمین در مناطق خشک، که منابع خاک محدود دارند، حیاتی است. در این پژوهش نیز شناسایی شیوه‌های مدیریتی برای کاهش تخریب و افزایش پایداری خاک در دشت سراوان مدنظر قرار گرفت.

کاربری زمین بر سلامت خاک، ساختار آن، چرخه مواد مغذی و حساسیت به فرسایش و شوری‌زایی تأثیر می‌گذارد (Lal, 2016). تحقیقات نشان داده‌اند که تک‌کشتی می‌تواند مواد مغذی خاک را کاهش دهد، درحالی‌که سیستم‌های چندکشتی با افزایش ماده آلی، حاصل‌خیزی خاک را بهبود می‌بخشند (Walkley & Black, 1934; Creswell & Creswell, 2017). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آبیاری نادرست در تک‌کشتی ممکن است شوری خاک را افزایش دهد، اما چندکشتی با تناوب زراعی این اثرات را کاهش می‌دهد (Nouraein et al., 2019). تحقیقات نشان داده که

زمین‌های زراعی نسبت به مراتع، مواد مغذی بیشتری دارند (Abdullahi et al., 2023).

تخریب خاک نیز متغیر وابسته مدنظر در این مطالعه است که به‌عنوان کاهش بهره‌وری زیستی خاک به دلیل تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی، تعریف می‌شود (Arrúe et al., 2019). تخریب خاک از طریق افزایش سطوح عوامل تخریبی مانند شوری، pH و کلرید، و کاهش سطوح عوامل اصلاحی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، ماده آلی و ریزمغذی‌ها (مانند منگنز و روی) قابل تشخیص است (Lobell, 2010; Sadeghi & Hazbavi, 2022). تخریب خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که حاصل‌خیزی خاک ذاتاً پایین بوده، به شیوه‌های کشاورزی ناپایدار مرتبط می‌باشد. فرسایش خاک به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی تخریب، ظرفیت خاک برای حفظ آب و مواد مغذی را کاهش می‌دهد و بر بهره‌وری کشاورزی تأثیر می‌گذارد (Lal, 2009). این یافته‌ها بر اهمیت ارزیابی تخریب خاک در دشت سراوان تأکید می‌کنند، جایی که تشدید فعالیت‌های کشاورزی ممکن است بیابان‌زایی را تشدید کرده و امنیت غذایی بلندمدت و سلامت اکوسیستم را تهدید کند.

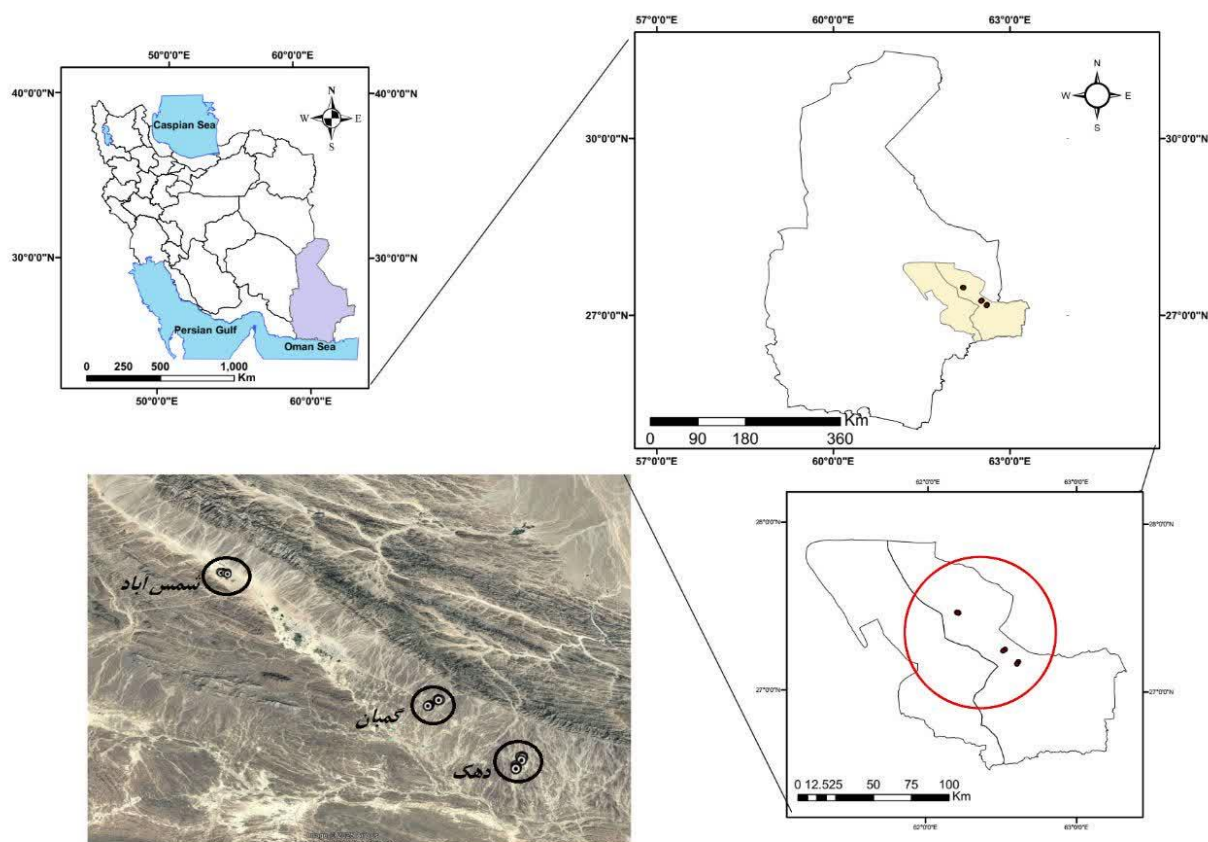
با وجود تحقیقات گسترده در زمینه تخریب زمین، درک اثرات انواع کاربری زمین کشاورزی در مناطق خشک مانند دشت سراوان، همچنان ناکافی است. مطالعات کمی به‌طور سیستماتیک تأثیر سیستم‌های تک‌کشتی، چندکشتی، باغ و مرتع را بر عوامل اصلاحی و تخریبی خاک در یک منطقه واحد مقایسه کرده‌اند (FAO, 1984; Mashizi et al., 2019). همچنین، تعامل بین شیوه‌های کاربری زمین و تخریب خاک در دشت سراوان، با محدودیت‌های اکولوژیکی خاص، به‌خوبی بررسی نشده و ابهاماتی درباره شیوه‌های کاهش‌دهنده تخریب وجود دارد (Safaei et al., 2019; Naorem & Machiwal, 2023). فقدان داده‌های محلی، توسعه سیاست‌های مبتنی بر شواهد برای کشاورزی پایدار را محدود کرده است. بااین‌حال، تأثیرات خاص کاربری زمین در دشت سراوان با شرایط

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در محدوده مختصات جغرافیایی $۶۱^{\circ}۱۰'$ تا $۶۲^{\circ}۳۵'$ طول شرقی و $۲۷^{\circ}۲۰'$ تا $۲۷^{\circ}۵۵'$ عرض شمالی در بخش مرکزی شهرستان سراوان، استان سیستان و بلوچستان، قرار دارد. منطقه دارای اقلیم خشک با میانگین بارندگی سالانه ۱۱۰ میلی‌متر (Iran Meteorological Organization, 2025) و حداکثر ارتفاع در این محدوده ۲۵۷۷ متر از سطح دریا در قسمت شمال و ارتفاعات شمالی منطقه و حداقل ارتفاع ۸۷۳ متر از سطح دریا در منطقه کف و یا مسیر رودخانه فصلی و در میانه محدوده مورد مطالعه قرار دارد (National Cartographic Center of Iran, 2006). اراضی روستاهای شمس‌آباد، گمبان و دهک به عنوان مناطق نماینده کشاورزی دشت سراوان می‌باشند. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقشه کاربری اراضی در شکل‌های (۱ و ۲) نشان داده شده است.

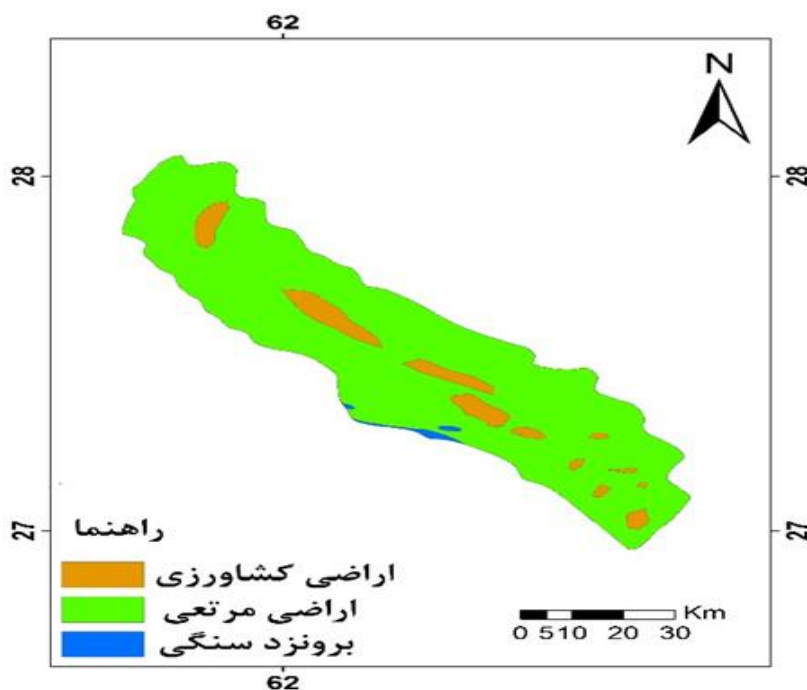
اقلیمی و خاکی منحصربه‌فرد، کمتر مطالعه شده و نیاز به بررسی هدفمند برای ترویج کشاورزی پایدار دارد. این مطالعه با ارزیابی تأثیر چهار نوع کاربری زمین بر کیفیت خاک در دشت سراوان، این شکاف را پر کرده و راهکارهایی برای تعادل بین بهره‌وری کشاورزی و حفاظت محیط‌زیست ارائه می‌دهد. اهداف پژوهش حاضر عبارتند از: (۱) بررسی تأثیر انواع مختلف کاربری زمین بر عوامل اصلاحی و تخریبی خاک، (۲) شناسایی مؤثرترین نوع کاربری زمین در کاهش تخریب خاک، (۳) مقایسه ویژگی‌های خاک در لایه‌های سطحی و زیرسطحی در میان انواع کاربری زمین.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Location of the study area



شکل ۲- کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (General Directorate of Natural Resources and Watershed)
(Management of Sistan and Baluchestan Province, 2023)

Figure 2- Land use of the study area

روش تحقیق

در این پژوهش ارزیابی تأثیر انواع کاربری زمین کشاورزی بر تخریب خاک در دشت سراوان، به صورت یک تحقیق میدانی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و بر پایه آرایش کرت‌های خردشده با سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی شامل چهار نوع غالب کاربری زمین تک‌کشتی آبی (گندم)، چندکشتی آبی (گندم، یونجه و ذرت علوفه‌ای)، باغ و مرتع آزاد (شاهد) و عامل فرعی نیز شامل دو عمق نمونه‌برداری خاک بود: (۱) لایه سطحی (۰-۴۰ سانتی‌متر) و (۲) لایه زیرسطحی (۴۰-۸۰ سانتی‌متر). منطقه مورد مطالعه دشت سراوان بوده، جایی که نمونه‌های خاک برای ارزیابی عوامل اصلاحی و تخریبی خاک از سه منطقه شاخص در این دشت (شمس‌آباد، گمبان و دهک) جمع‌آوری شدند. در هر واحد آزمایشی (مربوط به هر کاربری در هر تکرار)، جهت تهیه یک نمونه مرکب معرف، چندین زیرنمونه از نقاط مختلف در یک مسیر زیگزاگی به صورت تصادفی برداشت و پس از اختلاط کامل، یک نمونه نهایی تهیه گردید. آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز شامل خشک کردن در هوای آزاد و عبور از الک ۲

میلی‌متری انجام گردید. بر اساس نقشه کاربری اراضی استخراج‌شده از کتابچه مطالعات منطقه، کاربری غالب در محدوده مورد مطالعه مرتع است که بیشترین سطح منطقه را به خود اختصاص داده است. پس از آن، اراضی کشاورزی آبی قرار دارند که به صورت پراکنده در سطح منطقه گسترش یافته‌اند. سایر کاربری‌ها سهم کمتری از سطح منطقه را شامل می‌شوند. در این پژوهش، به منظور تطبیق نقشه کاربری اراضی با تیمارهای مورد بررسی، کاربری‌های کشاورزی به دو گروه اصلی تفکیک شدند: زراعت آبی شامل سیستم‌های تک‌کشتی و چندکشتی (کشت یک یا چند محصول به صورت همزمان یا متوالی) و باغات شامل باغ‌های نخل خرما و باغات مختلط. این تفکیک مبنای انتخاب تیمارهای مورد مطالعه و تفسیر نتایج کیفیت خاک در منطقه قرار گرفت.

جمع‌آوری داده‌ها شامل اندازه‌گیری‌های کمی ویژگی‌های خاک بود که با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی استاندارد اندازه‌گیری شدند. تعیین عناصر ریزمغذی (مانند منگنز، روی، مس، آهن) با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Lindsay & Norvell, 1978)،

هدایت‌سنج برای تعیین هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع خاک و pH خاک با استفاده از pH متر در عصاره اشباع خاک (Staff, 1954)، محتوای ماده آلی به روش اکسیداسیون مرطوب والکلی-بلک (Walkley & Black, 1934)، فسفر قابل دسترس در خاک به روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (Kjeldahl, 1883)، پتاسیم قابل دسترس با دستگاه فلوئوریمتر (Helmke & Sparks, 1996)، کلسیم و منیزیم به روش (Clesceri *et al.*, 1998)، کلراید به روش (Richards, 1954) و سولفات به روش (USDA, 2004) ارزیابی گردید.

جمع‌آوری داده‌های خاک از چهار نوع کاربری زمین و در اعماق مشخص‌شده با اندازه‌گیری عوامل اصلاحی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ماده آلی، سولفات، منیزیم، منگنز، روی، مس، آهن، کلسیم) و عوامل تخریبی (کلراید، pH، هدایت الکتریکی) صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل آنالیز واریانس (ANOVA) برای بررسی تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها، آزمون مقایسه میانگین دانکن (در سطح ۵ درصد) و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS، SPSS و Excel انجام گرفت. رویکرد این مطالعه بر اساس چارچوب نظری تخریب زمین و بیابان‌زایی بوده که بر شاخص‌های کیفیت خاک، تأکید داشت (Oldeman *et al.*, 1991; Lal, 2001). بر این اساس، امکان مقایسه بین انواع کاربری زمین برای دستیابی به اهداف مطالعه فراهم گردید.

روش امتیازدهی کیفی خاک

به منظور مقایسه کمی پتانسیل کاربری‌های مختلف در اصلاح یا تخریب خاک، از یک روش امتیازدهی مبتنی بر نتایج گروه‌بندی آماری (آزمون دانکن در سطح ۵ درصد) استفاده شد. برای هر ویژگی خاک در هر عمق، ابتدا بر اساس آزمون دانکن، تیمارها در گروه‌های آماری همگن (مانند a، b و ...) دسته‌بندی شدند، برای عوامل اصلاحی (شامل ماده آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سولفات، آهن، روی، مس و منگنز)،

تیمارهایی که در بالاترین گروه آماری قرار داشتند، امتیاز ۱+ و سایر تیمارها امتیاز ۱- دریافت کردند. اگر تمام تیمارها در یک گروه آماری قرار می‌گرفتند، همه تیمارها امتیاز ۱+ دریافت می‌کردند. برای عوامل تخریبی (شوری، کلراید و اسیدیته)، تیمارهایی که در پایین‌ترین گروه آماری قرار داشتند، امتیاز ۱+ و سایر تیمارها امتیاز ۱- دریافت کردند. اگر تمام تیمارها در یک گروه آماری قرار می‌گرفتند، همه تیمارها امتیاز ۱+ دریافت می‌کردند. در نهایت، شاخص نهایی کیفیت خاک برای هر کاربری از مجموع جبری امتیازات کسب‌شده در تمام ویژگی‌ها و هر دو عمق محاسبه گردید.

نتایج

نتایج بدست آمده در منطقه مورد مطالعه تفاوت‌های آشکاری در کیفیت خاک بین چهار نوع کاربری زمین را نشان داد، به طوری که اراضی تک‌کشتی و چندکشتی آبی سطوح بالاتری از عوامل اصلاحی را نسبت به مراتع (با عوامل تخریبی بیشتر) داشتند. نتایج تحلیل‌های آماری تفاوت‌های معنی‌دار در برخی ویژگی‌های خاک مانند ماده آلی، نیتروژن، pH، مس و منگنز، به‌ویژه در لایه سطحی، را تأیید کردند. در ارزیابی تأثیر انواع کاربری زمین بر عوامل اصلاحی و تخریبی خاک، تحلیل واریانس تفاوت‌های معنی‌داری را در چندین ویژگی خاک نشان داد. عوامل تخریبی مانند pH تفاوت‌های معنی‌داری را نشان داد، به‌طوری‌که در تیمار کشت باغی اسیدیته بالاتری (۸/۲۳) در مقایسه با مراتع (۷/۷۱) داشت. در خصوص هدایت الکتریکی بیشترین میزان در تیمار اراضی تک‌کشتی بوده که اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان داد که می‌تواند ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و تجمع املاح در این اراضی باشد (جدول ۱). میانگین مقادیر پتاسیم در لایه سطحی در تیمارهای مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد.

تیمارهای تک‌کشتی و باغی به‌دست آمد که دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای چندکشتی و مرتع می‌باشند (جدول ۱). همچنین در لایه زیرسطحی، بررسی میانگین مقادیر فسفر، پتاسیم و سولفات نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری در کاربری مختلف اراضی وجود ندارد.

نتایج آنالیز ویژگی‌های خاک در لایه زیرسطحی نشان داد که زمین‌های تک‌کشتی آبی به‌طور مداوم عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. میانگین مقادیر هدایت الکتریکی در اراضی مرتعی (۵/۲۵) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. میانگین مقادیر pH در لایه زیرسطحی نشان داد که بیشترین میزان در

جدول ۱- میانگین مقادیر برخی از ویژگی‌های خاک در لایه سطحی و زیرسطحی

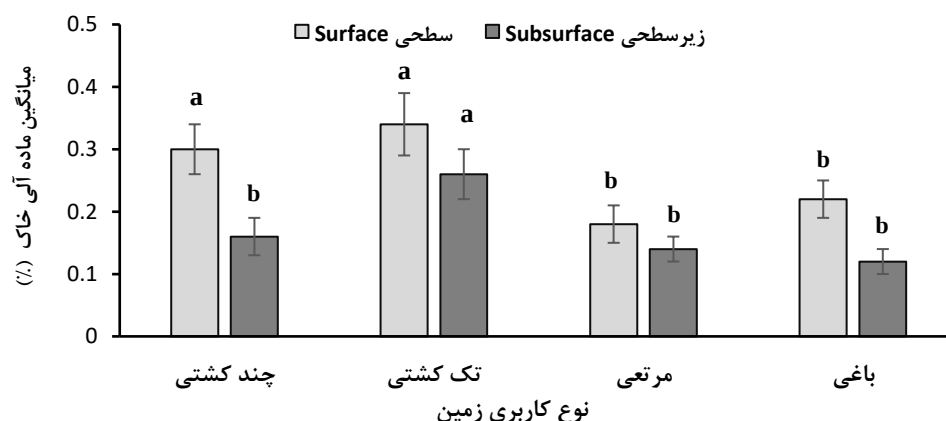
Table 1- Mean values of selected soil properties in the surface and subsurface layers

ویژگی خاک	سطحی		زیرسطحی	
	نوع کاربری زمین	میانگین	نوع کاربری زمین	میانگین
اسیدیته	باغی	8.23 ± 0.67a	تک‌کشتی	8.19 ± 0.66a
	تک‌کشتی	7.89 ± 0.63b	باغی	8.14 ± 0.65a
	مرتع	7.71 ± 0.62b	چندکشتی	7.86 ± 0.63b
	چندکشتی	7.69 ± 0.62b	مرتع	7.78 ± 0.62b
هدایت الکتریکی (dS/m)	تک‌کشتی	9.15 ± 1.1a	مرتع	5.25 ± 0.63a
	باغی	7.32 ± 0.88b	چندکشتی	4.60 ± 0.55b
	مرتع	5.26 ± 0.63b	تک‌کشتی	4.49 ± 0.54b
	چندکشتی	4.85 ± 0.58b	باغی	4.44 ± 0.53b

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن است. مقادیر به صورت (میانگین ± انحراف معیار) ارائه شده‌اند.

در لایه زیرسطحی میانگین میزان ماده آلی (درصد) در زمین‌های تک‌کشتی (۰/۲۶) به‌طور معنی‌داری بالاتر از مراتع (۰/۱۴) بدست آمد (شکل ۳).

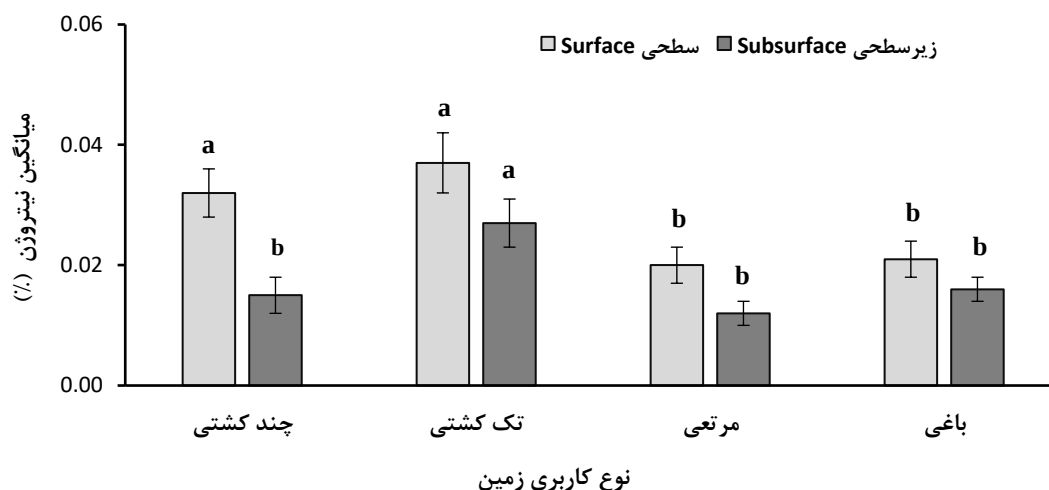
در لایه سطحی، میانگین میزان ماده آلی (درصد) در زمین‌های تک‌کشتی آبی (۰/۳۴) و چندکشتی آبی (۰/۳۰) به‌طور معنی‌داری بالاتر از مراتع (۰/۱۸) بود و



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد ماده آلی خاک در دو عمق و تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی (خطوط خطا نشان‌دهنده انحراف معیار میانگین (n=3) هستند).

Figure 3- Comparison of mean soil organic matter percentage at two depths under different land use types (Error bars represent the standard deviation of the mean (n=3))

میانگین میزان نیتروژن (درصد) نیز روندی مشابه ماده آلی را نشان داد، به‌طوری که در زمین‌های تک‌کشتی (۰/۰۳۷) و چندکشتی (۰/۰۳۲) به‌طور معنی‌داری بالاتر از مراتع (۰/۰۲) می‌باشد. همچنین در لایه زیرسطحی میانگین سطوح نیتروژن (درصد) نیز الگوی مشابهی داشت، به‌طوری که در اراضی تک‌کشتی (۰/۰۲۷) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مراتع (۰/۰۱۲) بود (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین درصد نیتروژن در دو عمق و تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی (خطوط خطا نشان‌دهنده انحراف معیار میانگین (n=3) هستند).

Figure 4- Comparison of mean N at two depths under different land use types (Error bars represent the standard deviation of the mean (n=3))

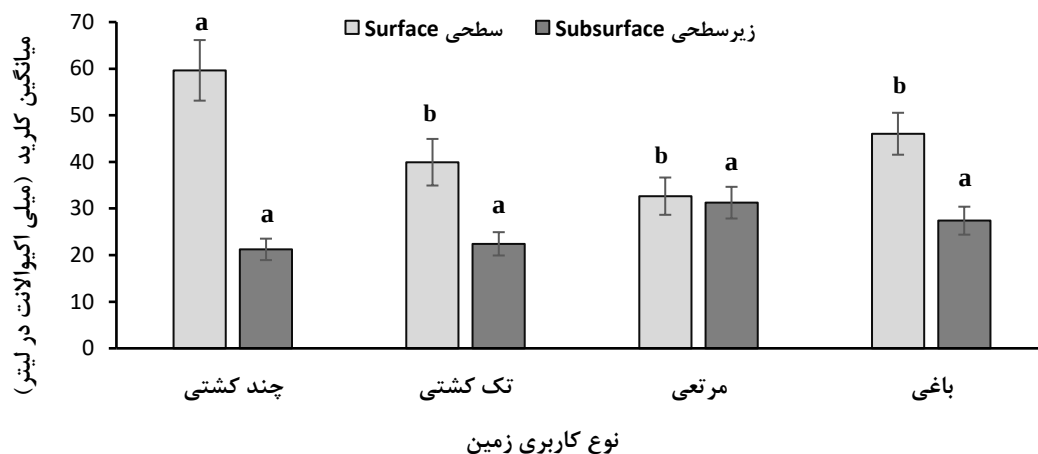
بررسی فسفر در لایه سطحی نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد به‌طوری که میزان فسفر در اراضی باغی بیشتر از سایر اراضی می‌باشد (شکل ۵)



شکل ۵- مقایسه میانگین فسفر در لایه سطحی و تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی (خطوط خطا نشان‌دهنده انحراف معیار میانگین (n=3) هستند).

Figure 5- Comparison of mean P at surface layer under different land use types (Error bars represent the standard deviation of the mean (n=3))

بیشترین میزان کلرید در تیمار چندکشتی به میزان ۵۹/۶۴ میلی‌اکی‌والانت در لیتر به‌دست آمد که دارای اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها بود (شکل ۶). در صورتی که در لایه زیرسطحی، میانگین مقادیر کلرید در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نداشتند.



شکل ۶- مقایسه میانگین کلرید در دو عمق و تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی (خطوط خطا نشان‌دهنده انحراف معیار میانگین (n=3) هستند).

Figure 6- Comparison of mean Chloride at two depths under different land use types (Error bars represent the standard deviation of the mean (n=3))

از مراتع (۱/۶۶ میلی گرم در کیلوگرم) به‌دست آمد. در لایه زیرسطحی، سطوح روی در اراضی تک‌کشتی و چندکشتی (به‌ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۴۵ میلی گرم در کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مراتع (۰/۱۷ میلی گرم در کیلوگرم) بود.

تغییرات در مقادیر سایر عناصر مغذی (روی، آهن، منگنز و کلسیم) در انواع کاربری زمین و در دو لایه سطحی و زیرسطحی نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). میانگین مقدار منگنز در اراضی تک‌کشتی (۴/۵۳ میلی گرم در کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر

جدول ۲- میانگین مقادیر برخی از عناصر غذایی خاک در لایه سطحی و زیرسطحی

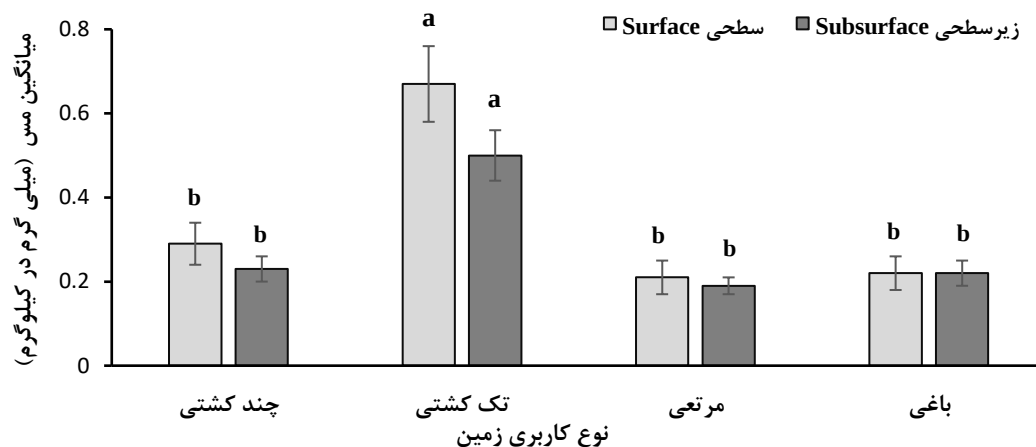
Table 3- Mean values of selected soil nutrients in the surface and subsurface layers

ویژگی خاک	سطحی		زیرسطحی	
	نوع کاربری زمین	میانگین	نوع کاربری زمین	میانگین
روی (mg/kg)	تک‌کشتی	0.50 ± 0.06a	تک‌کشتی	0.51 ± 0.06a
	چندکشتی	0.26 ± 0.03b	چندکشتی	0.45 ± 0.05a
	باغی	0.24 ± 0.03b	باغی	0.24 ± 0.03b
	مرتعی	0.17 ± 0.02b	مرتعی	0.17 ± 0.02b
آهن (mg/kg)	مرتعی	23.43 ± 2.15 a	تک‌کشتی	2.72 ± 0.08a
	تک‌کشتی	11.46 ± 1.05 b	باغی	0.91 ± 0.10b
	باغی	0.70 ± 0.09 c	چندکشتی	0.75 ± 0.08b
	چندکشتی	0.68 ± 0.07 c	مرتعی	0.66 ± 0.07b
منگنز (mg/kg)	تک‌کشتی	4.53 ± 0.50 a	تک‌کشتی	4.93 ± 0.54a
	باغی	2.47 ± 0.28 b	باغی	1.53 ± 0.17b
	چندکشتی	2.34 ± 0.25 b	چندکشتی	1.27 ± 0.14b
	مرتعی	1.66 ± 0.21 b	مرتعی	1.15 ± 0.13b
کلسیم (meq/l)	باغی	22.25 ± 2.50 a	مرتعی	18.25 ± 2.19a
	تک‌کشتی	17.77 ± 1.80 a	چندکشتی	11.11 ± 1.33a
	چندکشتی	8.55 ± 0.95 b	تک‌کشتی	7.33 ± 0.88b
	مرتعی	5.32 ± 0.60 b	باغی	4.66 ± 0.56b

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن است. مقادیر به صورت (میانگین ± انحراف معیار) ارائه شده‌اند.

به‌دست آمد. همچنین روند مشابهی در لایه زیرسطحی مشاهده شد (شکل ۷).

در لایه سطحی، میانگین مقدار مس در زمین‌های تک‌کشتی آبی (۰/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری بالاتر از مراتع (۰/۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم)

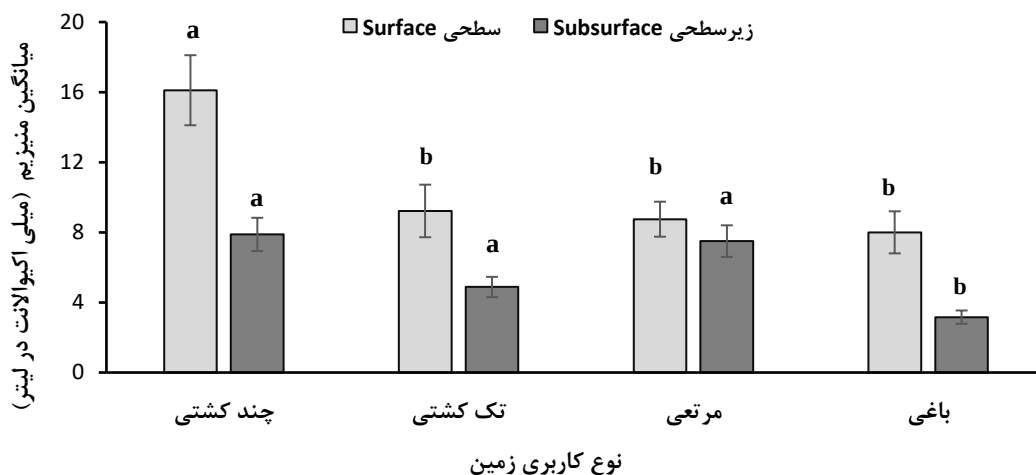


شکل ۷- مقایسه میانگین مس خاک در دو عمق و تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی (خطوط خطا نشان‌دهنده انحراف معیار میانگین (n=3) هستند).

Figure 7- Comparison of mean Cu at two depths under different land use types (Error bars represent the standard deviation of the mean (n=3))

تیمارها بود و در لایه زیرسطحی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای چندکشتی، تک‌کشتی و مرتعی مشاهده نشد (شکل ۸).

در لایه سطحی، نتایج میانگین میزان منیزیم در کاربری‌های مختلف نشان داد که مقدار این عنصر در تیمار چندکشتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر



شکل ۸- میانگین مقادیر منیزیم در کاربری‌های مختلف اراضی در لایه سطحی و زیرسطحی (خطوط خطا نشان‌دهنده انحراف معیار میانگین (n=3) هستند).

Figure 8- Mean Mg values in different land uses in the surface and subsurface layers (Error bars represent the standard deviation of the mean (n=3))

نتایج حاصل از این امتیازدهی در جدول (۳) خلاصه شده است. نتایج نشان داد که اراضی تک‌کشتی با امتیاز ۱۰+ مناسب‌ترین تیمار بوده و باعث بهبود وضعیت

پس از امتیازدهی به تیمارها، تیمارهایی که فاکتور تخریبی را افزایش دادند امتیاز منفی و تیمارهایی که فاکتور اصلاحی را بهبود بخشیدند امتیاز مثبت گرفتند.

خاک شد. در مقابل، اراضی مرتعی با امتیاز ۱۰- نامناسب‌ترین تیمار از نظر ویژگی‌های اصلاحی خاک در هر دو لایه سطحی و زیرسطحی بود. اراضی تک‌کشتی بهترین عملکرد را در اصلاح ویژگی‌های لایه زیرسطحی خاک داشت و به دلیل نقش مثبت در

افزایش فاکتورهای اصلاحی، مناسب‌ترین کاربری برای منطقه است و از تخریب اراضی جلوگیری می‌کند. اراضی چندکشتی با امتیاز ۲- پس از اراضی تک‌کشتی در بهبود ویژگی‌های خاک قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود کشاورزی منطقه به سمت تک‌کشتی هدایت شود.

جدول ۳- خلاصه امتیازدهی نهایی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف بر اساس عوامل اصلاحی و تخریبی
Table 3 - Summary of final soil quality scoring in different land uses based on ameliorative and degradative factors

نوع کاربری زمین	امتیاز عوامل اصلاحی	امتیاز عوامل تخریبی	امتیاز نهایی
تک‌کشتی	+19	-9	+10
چندکشتی	+13	-15	-2
باغی	+10	-18	-8
مرتعی	+9	-19	-10

بحث

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهند که انواع کاربری زمین کشاورزی به‌طور قابل‌توجهی بر کیفیت خاک در دشت سراوان تأثیر می‌گذارند، به‌طوری‌که زمین‌های تک‌کشتی آبی عملکرد مناسب‌تری در بهبود عوامل اصلاحی خاک مانند ماده آلی و نیتروژن در مقایسه با مراتع، که دارای سطوح بالاتری از عوامل تخریبی مانند کلرید و pH بودند، نشان دادند. این نتایج با سؤال پژوهشی بررسی تأثیر انواع کاربری زمین بر عوامل اصلاحی و تخریبی خاک هم‌خوانی دارد و نقش حیاتی آبیاری و مدیریت زراعی را در کاهش تخریب خاک در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک برجسته می‌کند (Lal, 2024; Puigserver et al., 2024). سطوح بالای عوامل اصلاحی در زمین‌های تک‌کشتی و چندکشتی آبی نشان‌دهنده آن است که این شیوه‌ها با افزایش دسترسی به مواد مغذی، حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشند، که برای حفظ بهره‌وری کشاورزی در مناطقی مستعد بیابان‌زایی حیاتی است (Follett & Stewart, 1985). در مقابل، وضعیت نامطلوب خاک مراتع، آسیب‌پذیری آن‌ها را نسبت به تخریب نشان می‌دهد، که احتمالاً به دلیل ورودی‌های محدود مواد مغذی و قرار گرفتن در معرض تنش‌های محیطی است

(Singh, 2022). این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت روش‌های کشاورزی مناسب برای حفظ سلامت خاک است و تأکید می‌کند که شاخص‌های کیفیت خاک نقش کلیدی در پایداری اکوسیستم دارند (Arrúe et al., 2019).

در راستای نتایج این پژوهش، مطالعات نشان می‌دهد که زمین‌های کشاورزی، به‌ویژه آن‌هایی که تحت آبیاری هستند، در مقایسه با مراتع، دارای سطح بالاتری از مواد مغذی هستند (Zehetabian et al., 2005). این موضوع تأیید می‌کند که مدیریت فعال خاک می‌تواند از فرآیندهای تخریب جلوگیری کند (Oldeman et al., 1991; Balota et al., 2004). با این حال، عملکرد بهتر زمین‌های تک‌کشتی آبی در تضاد با مطالعاتی است که پیشنهاد کرده بودند مراتع در برخی زمین‌های خشک به دلیل نیاز کم به نهاده‌ها می‌توانند بهینه باشند (Mesgaran et al., 2017). این اختلاف ممکن است ناشی از تفاوت‌های منطقه‌ای در اقلیم و شیوه‌های مدیریت خاک باشد، زیرا شرایط خشک دشت سراوان و شیوه‌های آبیاری فشرده احتمالاً مزایای سیستم‌های تک‌کشتی را تقویت می‌کنند (Akbari et al., 2020). Singh (2022) هم‌خوانی دارد که اشاره کرده بود

خاک‌های مدیریت نشده در مناطق خشک مستعد شوری زایی و کاهش مواد مغذی هستند (Tilman et al., 2002). این پژوهش با تعیین کشاورزی تک‌کشتی به عنوان بهترین روش، درک بهتری از تأثیرات کاربری زمین در مناطق خشک و نیمه خشک ارائه می‌دهد. هر چند با توجه به محدودیت آب، اولویت با روش‌های دانش بومی برای توسعه کشت و مهار بیابان‌زایی است. نتایج نشان می‌دهند که آبیاری هدفمند و انتخاب مناسب محصولات می‌تواند کیفیت خاک را به طور چشمگیری بهبود بخشد و به بحث‌های گسترده تر درباره کشاورزی پایدار کمک کند (Bakhshandeh et al., 2019).

با وجود دستیابی به نتایج دقیق و مشخص، چندین محدودیت باید مورد توجه قرار گیرد. تمرکز مطالعه بر یک منطقه واحد، دشت سراوان، تعمیم‌پذیری نتایج به سایر محیط‌های خشک با شرایط اقلیمی یا خاکی متفاوت را محدود می‌کند (Safaei et al., 2019). علاوه بر این، فقدان جمع‌آوری داده‌های بلندمدت، شناخت در مورد تغییرات زمانی ویژگی‌های خاک را که برای ارزیابی پایداری شیوه‌های کاربری زمین حیاتی است، محدود می‌کند (Naorem & Machiwal, 2023; Lal, 2024). روش نمونه برداری هدفمند، اگرچه نشان‌دهنده ویژگی‌های محل بوده، اما ممکن است سوگیری انتخاب را به همراه داشته باشد و به طور بالقوه ناهمگونی فضایی درون انواع کاربری زمین را در نظر نگیرد (Dregne, 2002). در تحقیقات آتی می‌توان این محدودیت‌ها را با گردآوری داده‌های چندساله برای ثبت دینامیک‌های زمانی و گسترش مطالعه به سایر مناطق خشک برای بررسی قابلیت استفاده گسترده تر یافته‌ها، برطرف نمود (Mashizi et al., 2019). همچنین، یکپارچه سازی فناوری‌های سنجش از دور می‌تواند دقت نقشه برداری خاک را افزایش داده و ارزیابی جامع تری از الگوهای تخریب ارائه دهد (Maleki et al., 2021).

نتیجه گیری کلی

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر انواع کاربری زمین بر شاخص‌های کیفیت و تخریب خاک در شرایط اقلیمی خشک دشت سراوان انجام شد. نتایج نشان داد که نوع مدیریت کاربری زمین نقش تعیین کننده‌ای در وضعیت عوامل اصلاحی و تخریبی خاک دارد و تفاوت‌های مشاهده شده میان کاربری‌ها صرفاً ناشی از ماهیت کشاورزی یا طبیعی بودن آن‌ها نیست، بلکه به شدت تحت تأثیر سطح و نوع مدیریت اعمال شده قرار دارد. مقایسه کاربری‌های کشاورزی مدیریت شده با مرتع طبیعی، به منظور ارزیابی تأثیر مدیریت بر پتانسیل ذاتی خاک منطقه انجام شد. نتایج نشان داد که اراضی تک‌کشتی و چندکشتی آبی، به دلیل دریافت آب و نهاده‌های غذایی، دارای سطوح بالاتری از ماده آلی، نیتروژن و برخی ریزمغذی‌ها نسبت به مرتع بودند. در مقابل، اراضی مرتعی مورد مطالعه، که به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شدند، پایین ترین مقادیر عوامل اصلاحی و بالاترین مقادیر عوامل تخریبی را در هر دو لایه سطحی و زیرسطحی نشان دادند. این وضعیت بیانگر آن است که مراتع منطقه، حداقل در شرایط فعلی، نمایانگر پتانسیل ذاتی تضعیف شده خاک بوده و تحت تأثیر فشارهای محیطی و مدیریتی قرار دارند. بر اساس شاخص‌های اندازه گیری شده، تخریب مراتع منطقه از طریق کاهش ماده آلی و عناصر غذایی و افزایش برخی عوامل تخریبی قابل تشخیص بود که می‌تواند ناشی از عواملی نظیر چرای بی‌رویه، محدودیت شدید بارندگی و تشدید تنش‌های اقلیمی باشد؛ بنابراین، تفاوت مشاهده شده بین کاربری‌های کشاورزی و مرتع را باید در چارچوب تخریب تدریجی مراتع منطقه و نه برتری ذاتی کشاورزی بر اکوسیستم طبیعی تفسیر کرد. اگرچه اراضی تک‌کشتی آبی در این مطالعه بالاترین امتیاز بهبود خاک را کسب کردند، اما این یافته به معنای توصیه کلی و بدون قید به گسترش این سیستم‌ها نیست.

با توجه به محدودیت منابع آب در منطقه، افت سطح و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و تشدید تغییرات

به وضعیت فعلی مراتع تخریب‌یافته بهبود بخشد. هم‌زمان، احیای مراتع و کاهش فشارهای تخریبی بر آن‌ها باید به‌عنوان یک اولویت مدیریتی مستقل مورد توجه قرار گیرد. انجام مطالعات بلندمدت، بررسی هم‌زمان ابعاد اقتصادی-اجتماعی و ارزیابی پایداری منابع آب، برای تصمیم‌گیری‌های اجرایی آینده ضروری است.

اقلیمی، هرگونه توسعه یا تداوم سیستم‌های کشاورزی مدیریت‌شده باید با احتیاط و صرفاً در چارچوب بهره‌گیری از روش‌های کم‌آب، افزایش کارایی آبیاری و مدیریت دقیق تغذیه خاک صورت گیرد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در شرایط فعلی دشت سراوان، مدیریت اصولی خاک و آب می‌تواند حتی در سیستم‌های کشاورزی، کیفیت خاک را نسبت

References

- Abdullahi, M. B., Elnaggar, A. A., Omar, M. M., Murtala, A., Lawal, M., & Mosa, A. A. (2023). Land degradation, causes, implications and sustainable management in arid and semi arid regions: A case study of Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 63(4), 659-676. <https://doi.org/10.21608/ejss.2023.230986.1647>
- Akbari, M., Shalamzari, M. J., Memarian, H., & Gholami, A. (2020). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicators*, 111, 106011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106011>
- Arrúe, J. L., Álvaro-Fuentes, J., Plaza-Bonilla, D., Villegas, D., & Cantero-Martínez, C. (2019). Managing drylands for sustainable agriculture. In *Innovations in Sustainable Agriculture* (pp. 529-556). Cham: Springer International Publishing.
- Bakhshandeh, E., Hossieni, M., Zeraatpisheh, M., & Francaviglia, R. (2019). Land use change effects on soil quality and biological fertility: A case study in northern Iran. *European Journal of Soil Biology*, 95, 103119. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.103119>
- Balota, E. L., Colozzi Filho, A., Andrade, D. S., & Dick, R. P. (2004). Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 77(2), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.12.003>
- Clesceri L. S., Greenberg A. E., & Eaton A. D. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, *American Public Health Association*. Washington, DC. 1998:4-415.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Dregne, H. E. (2002). Land degradation in the drylands. *Arid Land Research and Management*, 16(2), 99-132. <https://doi.org/10.1080/153249802317304422>
- Emami, N. S., Chavoshi, E., Ayoubi, S., Honarjoo, N., & Zeraatpisheh, M. (2024). Comprehensive assessment of soil quality in various land uses: a comparative analysis of soil quality index models. *Environmental Earth Sciences*, 83(17), 498. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11789-7>
- FAO. (1984). *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*. FAO.
- Follett, R., & Stewart, B. A. (1985). Soil erosion and crop productivity. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison*.
- General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Sistan and Baluchestan Province. (2015). *Detailed-executive studies of the Saravan Plain watershed*. (In Persian)
- Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. In: Sparks, D. L. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*, 5, 551-574.
- Iran Meteorological Organization. (2025). *Long-term climatic data of Saravan synoptic station (1995–2024 period)*. Archive of the National Center for Climatology and Drought Crisis Management. (In Persian)

- Kjeldahl, J. (1883). A New method for the determination of nitrogen in organic matter. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 22, 366-382.
- Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1(1), 45-57. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0009-z>
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212-222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>
- Lal, R. (Ed.). (2024). *Managing Soil Drought*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b23132>
- Lal, R. A. T. T. A. N. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519-539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Lobell, D. B. (2010). Remote sensing of soil degradation: introduction. *Journal of Environmental Quality*, 39(1), 1-4. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0326>
- Maleki, S., Karimi, A., Zeraatpisheh, M., Poozeshi, R., & Feizi, H. (2021). Long-term cultivation effects on soil properties variations in different landforms in an arid region of eastern Iran. *Catena*, 206(11), 105465. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105465>
- Mashizi, A. K., Heshmati, G. A., Mahini, A. R. S., & Escobedo, F. J. (2019). Exploring management objectives and ecosystem service trade-offs in a semi-arid rangeland basin in southeast Iran. *Ecological Indicators*, 98, 794-803. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.065>
- Mesgaran, M. B., Madani, K., Hashemi, H., & Azadi, P. (2017). Iran's land suitability for agriculture. *Scientific Reports*, 7(1), 7670. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08066-y>
- Naorem, A., & Machiwal, D. (2023). *Enhancing resilience of dryland agriculture under changing climate*. Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7916-2_20
- National Cartographic Center of Iran. (2006). *Topographic map, 1:250,000 scale, Saravan sheet*. Tehran, Iran. (In Persian)
- Netthisinghe, A. M., Galloway, H. O., Agga, G. E., Gunter, P. A., & Sistani, K. R. (2023). Effects of cropping systems on soil physicochemical properties and abundances and spatial distributions of nitrogen-cycling bacteria. *Agronomy*, 13(6), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061461>
- Nouraein, M., Skataric, G., Spalevic, V., Dudic, B., & Gregus, M. (2019). Short-term effects of tillage intensity and fertilization on sunflower yield, achene quality, and soil physicochemical properties under semi-arid conditions. *Applied Sciences*, 9(24), 5482. <https://doi.org/10.3390/app9245482>
- Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A., & Sombroek, W. G. (1991). World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note, 2nd. rev.
- Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (No. 939). US Department of Agriculture.
- Puigserver, D., Giménez, J., Gràcia, F., Granell, À., Carmona, J. M., Torrandell, A., & Fornós, J. J. (2024). Effects of global and climate change on the freshwater-seawater interface movement in a Mediterranean karst aquifer of Mallorca Island. *Science of the Total Environment*, 912, 169246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169246>
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Handbook No. 60. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Sadeghi, S. H., & Hazbavi, Z. (2022). Land degradation in Iran. In *Global degradation of soil and water resources: regional assessment and strategies* (pp. 287-314). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7916-2_20
- Safaei, M., Bashari, H., Mosaddeghi, M. R., & Jafari, R. (2019). Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil

- functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. *Catena*, 177, 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.021>
- Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38(1), 39-67. <https://doi.org/10.1111/sum.12772>
- Staff, S.L.U.S. (1954). PH reading of saturated soil paste. In: Richards L.A. (ed.) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils USDA Agricultural Handbook*, 60, 102.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- USDA, N. R. C. S. (2004). Soil survey laboratory methods manual. *Soil Survey Investigations Report*, 42.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Zehtabian, G. R., Amiri, B., & Souri, M. (2005). The comparison of soil nutrients among agricultural lands and range lands with emphasis on N- P- K (Case study: Khodabandeh, Zanjan). *Pajouhesh -Va- Sazandegi in Agriculture and Horticulture*, 18(3), 9-19. (In Persian)

Economic valuations of some rangeland ecosystem services (Case study: Kolashak watershed, Gilan-e-Gharb county)

Faezeh Shahbazi¹, Ali Mahdavi^{1*}, Marzban Faramarzi²

1. Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2. Department Nature Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

*Corresponding author: a.mahdavi@ilam.ac.ir

(Received: 18 May 2025

Revised: 10 August 2025

Accepted: 10 September 2025)

Extended Abstract

Introduction: Forests and rangelands are considered as the richest sources of ecosystem services. With population growth and the intensification of natural resource exploitation, the demand for these services has increased dramatically. Understanding these services and the extent of human dependence on them highlights the need for the development of systematic frameworks for their economic valuation. Among these ecosystems, the Zagros rangelands stand out as one of the most critical ecological systems in Iran, currently facing escalating threats. Although these rangelands play an irreplaceable role in regulating water and soil cycles, conserving biodiversity, and supporting the livelihoods of local communities, increasing pressures from overexploitation and unsustainable management have placed their survival at serious risk. The objective of this study was to conduct an economic valuation of the most important ecosystem services provided by the rangelands in the Kolashak watershed.

Materials and Methods: In this study, the Kolashak watershed, encompassing an area of 9,110.2 hectares and located in Gilan-e Gharb County, Kermanshah Province, was investigated. First, all essential base maps, including topography, vegetation cover, land use, and soil maps, were prepared and processed within a GIS environment. Subsequently, the most important ecosystem services were assessed, comprising regulatory services (functions: carbon sequestration and oxygen production), supporting services (functions: soil formation and nutrient conservation), and provisioning services (function: forage production). The economic valuation of these services was conducted using the replacement cost method. Finally, the total economic value of ecosystem services in rangeland land use was estimated.

Results and Discussion: The economic value of each hectare of rangeland in the study area was estimated at 784,247 Thousand Rials per hectare per year. Among the assessed services, oxygen production (503,795 Thousand Rials) and carbon sequestration (248,976 Thousand Rials) contributed the most to this economic value. The average carbon sequestration in the rangelands was estimated at 24.96 tons per hectare; 87% of which (21.74 tons) is stored in the soil, highlighting the role of rangeland soils as key carbon sinks. Regarding oxygen production, calculations based on photosynthesis equations indicated that each hectare of rangeland annually produces an average of 3.7 tons of oxygen (equivalent to 11,077.8 tons across the entire watershed), sufficient to meet the annual oxygen needs of 12 individuals. These findings suggest that rangelands with greater vegetative cover and larger areas have a higher capacity for carbon sequestration and oxygen production. Furthermore, the economic value of forage production was calculated at 29,540 Thousand Rials per hectare. The rangelands of the Kolashak watershed also play a vital role in soil conservation and erosion prevention. With an average erosion rate of 13.85 tons per hectare, these rangelands perform better than the region's agricultural lands (17.43 tons per hectare). The rangelands prevent the annual loss of approximately 3,580 kg of soil per hectare, equating to an economic value of 1,815 Thousand Rials per hectare for nutrient retention. Additionally, the economic value of soil formation was estimated at 121,633 Thousand Rials per hectare. Although this value appears lower than that of other functions, it reflects the long time required for soil formation and the replacement cost-based valuation method. Overall, these results underscore the substantial ecological and economic importance of rangelands in maintaining biogeochemical cycles and moderating climate change.

Conclusion: Valuing environmental resources such as rangelands has two important applications. First, it is used in cost-benefit analysis to attract economic support for rangeland protection and to determine the amount of damage caused by rangeland degradation. Second, the estimated economic values can be used in generating the gross income of a sector of the economy. The findings highlight the significant economic value of ecosystem services provided by the rangelands in the Kolashak watershed. This valuable ecosystem is under increasing threat from factors such as overgrazing, land-use change, water erosion, and shifts in precipitation patterns. These threats emphasize the urgent need for sustainable management. The results of this study can serve as a scientific foundation for management decisions and conservation planning, particularly in balancing livestock numbers with rangeland carrying capacity and improving grazing practices. Such measures can help simultaneously address the livelihood needs of local communities while ensuring the long-term health and functionality of rangeland ecosystems.

Keywords: Economic valuation, Ecosystem services, Replacement cost method, Rangeland management

Citation: Shahbazi, F., Mahdavi, A., & Faramarzi, M. (2026). Economic valuations of some rangeland ecosystem services (Case study: Kolashak watershed, Gilan-e-Gharb county). *Integrated Watershed Management*, 6(2), 110-129. doi=10.22034/iwm.2025.2059452.1225

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارزش گذاری اقتصادی برخی از خدمات اکوسیستم مرتعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز

کلاشک، شهرستان گیلانغرب)

فائزه شهبازی^۱، علی مهدوی^{۲*}، مرزبان فرامرزی^۲

۱. گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

*نویسنده مسئول: a.mahdavi@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸

چکیده مبسوط

مقدمه: جنگل‌ها و مراتع از غنی‌ترین منابع ارائه‌دهنده خدمات اکوسیستمی به‌شمار می‌آیند. با رشد جمعیت و افزایش بهره‌برداری از منابع طبیعی، تقاضا برای این خدمات به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. به همین دلیل، درک این خدمات و وابستگی جوامع انسانی به آن‌ها ضرورت توسعه چارچوب‌های نظام‌مند برای ارزش‌گذاری اقتصادی را آشکار می‌سازد. در این میان، مراتع زاگرس به عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های کشور، با تهدیدات فزاینده‌ای مواجه است. اگرچه این مراتع نقش بی‌بدیلی در تنظیم چرخه آب و خاک، حفظ تنوع زیستی و تأمین معیشت جوامع محلی ایفا می‌کنند، اما فشار روزافزون بهره‌برداری و مدیریت ناپایدار، بقای این اکوسیستم‌های ارزشمند را با خطر جدی مواجه ساخته است. هدف از این مطالعه، ارزش‌گذاری اقتصادی مهم‌ترین خدمات اکوسیستم مرتعی در حوزه آبخیز کلاشک می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق حوزه آبخیز کلاشک با مساحت ۹۱۱۰/۲ هکتار در شهرستان گیلانغرب در استان کرمانشاه مورد مطالعه قرار گرفت. در گام نخست، کلیه نقشه‌های پایه موردنیاز شامل نقشه‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و خاک در محیط GIS تهیه و پردازش شدند. سپس مهم‌ترین خدمات اکوسیستمی شامل خدمات تنظیمی (کارکردهای ترسیب کربن و تولید اکسیژن)، خدمات حمایتی (کارکردهای تولید خاک و حفاظت از مواد مغذی خاک) و خدمات تأمینی (کارکرد تولید علوفه) برآورد شدند و در گام بعدی با استفاده از روش هزینه-جایگزین مورد ارزش‌گذاری اقتصادی قرار گرفتند. در نهایت ارزش کل اقتصادی خدمات اکوسیستمی در کاربری مرتع برآورد گردید.

نتایج و بحث: ارزش اقتصادی هر هکتار از مراتع منطقه مورد مطالعه معادل ۷۸۴،۲۴۷ هزار ریال در هکتار در سال برآورد شد. از این میان، کارکردهای تولید اکسیژن (۵۰۳،۷۹۵ هزار ریال) و ترسیب کربن (۲۴۸،۹۷۶ هزار ریال) بیشترین سهم را در ارزش اقتصادی داشتند. میانگین ترسیب کربن در مراتع حوزه ۲۴/۹۶ تن در هکتار برآورد شد که ۸۷ درصد آن (۲۱/۷۴ تن) در بخش خاک ذخیره شده است که نشان می‌دهد خاک مراتع به عنوان مهم‌ترین مخزن کربن عمل می‌کند. در بخش تولید اکسیژن، محاسبات مبتنی بر فرمول فتوسنتز نشان داد که هر هکتار از مراتع حوزه به‌طور میانگین سالانه ۳/۷ تن در هکتار (۱۱۰۷۷/۸ تن برای کل حوزه) اکسیژن تولید می‌کند که معادل تأمین نیاز سالانه ۱۲ نفر است. می‌توان استنباط کرد که هرچه پوشش مراتع غنی‌تر و وسعت آن بیشتر باشد، توانایی مرتع در ترسیب کربن و تولید اکسیژن بیشتر می‌شود. همچنین ارزش اقتصادی کارکرد تولید علوفه ۲۹،۵۴۰ هزار ریال در هکتار محاسبه شد. بر اساس نتایج، کاربری مراتع حوزه آبخیز کلاشک نسبت به سایر کاربری‌های موجود در حوزه، نقش حیاتی در حفاظت از خاک و جلوگیری از فرسایش ایفا می‌کنند. برای مثال، مراتع حوزه با میانگین فرسایش ۱۳/۸۵ تن در هکتار، عملکرد بهتری نسبت به اراضی کشاورزی منطقه (۱۷/۴۳ تن در هکتار) دارند. همچنین مراتع مورد مطالعه سالانه از هدررفت ۳۵۸۰ کیلوگرم خاک در هکتار جلوگیری می‌کنند که ارزش اقتصادی حفاظت از مواد مغذی خاک را به ۱،۸۱۵ هزار ریال در هکتار می‌رساند. به علاوه ارزش اقتصادی کارکرد تولید خاک برای هر هکتار مرتع ۱۲۱ هزار ریال برآورد شد. این نتایج حاکی از نقش قابل توجه مراتع در تولید و حفظ خاک حاصلخیز است، هرچند که ارزش اقتصادی محاسبه‌شده در مقایسه با سایر خدمات اکوسیستمی پایین‌تر به نظر می‌رسد. این تفاوت عمدتاً ناشی از بازه زمانی طولانی موردنیاز برای تشکیل خاک و روش محاسبه مبتنی بر هزینه‌های جایگزینی است. این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که مراتع نه تنها از نظر اکولوژیک، بلکه از جنبه اقتصادی نیز نقش حیاتی در تنظیم چرخه‌های بیوژئوشیمیایی و تعدیل تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند.

نتیجه‌گیری: ارزش‌گذاری منابع زیست محیطی مانند مرتع دو کاربرد مهم دارد که اهمیت آن را برجسته‌تر می‌کند. اول، در تحلیل هزینه-فایده جهت جلب حمایت‌های اقتصادی برای حفاظت از مراتع و تعیین میزان خسارت برای تخریب‌کنندگان مراتع بکار می‌رود و دوم، ارزش‌های اقتصادی برآورد شده می‌تواند در تولید درآمد ناخالص بخشی از اقتصاد مورد استفاده قرار بگیرد. یافته‌ها نشان‌دهنده ارزش اقتصادی قابل توجه خدمات اکوسیستمی مراتع حوزه آبخیز کلاشک در شهرستان گیلانغرب است. این اکوسیستم ارزشمند با تهدیداتی همچون چرای بی‌رویه دام، تغییر کاربری اراضی، فرسایش آبی و تغییرات الگوی بارش‌ها مواجه است که لزوم توجه ویژه به مدیریت پایدار آن را بیش از پیش آشکار می‌سازد. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی جهت تعادل بخشی میان ظرفیت و تعداد دام و همچنین بهبود روش‌های چرا در مراتع مورد استفاده قرار گیرد تا از یک سو هم به نیازهای معیشتی جوامع محلی توجه شود و از سوی دیگر، سلامت اکوسیستم‌های مرتعی حفظ گردد.

واژه‌های کلیدی: ارزش‌گذاری اقتصادی، خدمات اکوسیستمی، روش هزینه جایگزین، مدیریت مراتع

استناد: شهبازی، ف.، مهدوی، ع. و فرامرزی، م. (۱۴۰۵). ارزش‌گذاری اقتصادی برخی از خدمات اکوسیستم مرتعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کلاشک، شهرستان گیلانغرب). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۶(۲)، ۱۱۰-۱۲۹.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

رشد سریع جمعیت و افزایش مصرف منابع طبیعی در دهه‌های اخیر، فشار بی‌سابقه‌ای بر اکوسیستم‌های طبیعی وارد کرده است (Logsdon & Chaubey, 2013). اگرچه اهمیت حیاتی خدمات اکوسیستمی به خوبی شناخته شده، اما فعالیت‌های انسانی مخربی مانند جنگل‌زدایی، توسعه شهری و کشاورزی ناپایدار و بهره‌برداری بیش‌ازحد از مراتع همچنان ادامه دارد (Grunwald, 2018). این تناقض رفتاری نشان‌دهنده یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی عصر حاضر است. خدمات اکوسیستمی^۱ که شامل طیف وسیعی از مزایای مستقیم و غیرمستقیم حاصل از عملکرد طبیعی اکوسیستم‌ها می‌شود، سهم قابل توجهی در اقتصاد جهانی دارند (Chen et al., 2022)، درک این خدمات و وابستگی جوامع انسانی به آن‌ها ضرورت توسعه چارچوب‌های نظام‌مند برای ارزش‌گذاری اقتصادی را آشکار می‌سازد (Mofidi Chelan et al., 2021). در این راستا، ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات اکوسیستمی ابزاری قدرتمند برای کمی‌سازی ارزش مالی خدمات طبیعی، ایجاد امکان مقایسه با سایر سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی آگاهانه و ارزیابی پایداری بلندمدت منابع طبیعی محسوب می‌شود (Ghoreyshi et al., 2014). مراتع به عنوان یکی از ارزشمندترین اکوسیستم‌های طبیعی، نقش بی‌بدیلی در ارائه خدمات اکوسیستمی ایفا می‌کنند (MEA, 2005). مطالعات متعدد در سطح ملی و بین‌المللی بر ارزش اقتصادی قابل توجه این خدمات تأکید داشته‌اند. در پژوهش‌های داخلی، Jafarzadeh و همکاران (۲۰۱۹) در حوزه مشخص ایلان نشان دادند که ارزش سالانه خدمات مرتعی به ۱۲۱/۴ میلیون ریال در هکتار می‌رسد

که سهم خدمات تنظیمی (تولید آب، ترسیب کربن و حفاظت خاک) به طور چشمگیری از خدمات تأمینی بیشتر است. این یافته‌ها با نتایج Bostan و همکاران (۲۰۲۲) در مراتع شیخ موسی شهرستان بابل که ارزش خدمات تنظیمی را ۲۵۱/۲۶۹ ریال در هکتار برآورد کردند، همخوانی دارد. از سوی دیگر و در سطح بین‌المللی، پژوهش Baskent (۲۰۲۱) در ترکیه و Zhengfeng و همکاران (۲۰۲۲) در کانادا به ترتیب ارزش ترسیب کربن مراتع را ۶۷/۲ میلیون دلار و ۴۵/۱ میلیارد دلار در هکتار محاسبه کردند که نشان‌دهنده اهمیت جهانی این خدمات است. مطالعات میدانی Eskandari Nasab و همکاران (۲۰۲۳) در ریگ اسحق آباد کرمان نیز بر ارزش اقتصادی خدمات مراتع در شرایط اکوسیستم‌های خشک تأکید دارد. با وجود این شواهد علمی، چالش اصلی در مدیریت مراتع ایران، عدم توجه کافی به این ارزش‌ها در تصمیم‌گیری‌هاست (Shamkhi & Mirmohammadi, 2012). پیامدهای این بی‌توجهی در مطالعاتی مانند تحقیق Abbasi و همکاران (۲۰۲۳) در قم به وضوح نشان داده شده است، جایی که تخریب مراتع منجر به خسارت سالانه ۱۱/۶ میلیارد ریالی شده است.

این یافته‌ها لزوم بازنگری در نگرش به مراتع و لحاظ کردن ارزش کامل خدمات آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای را آشکار می‌سازد. مراتع به عنوان یکی از ارزشمندترین اکوسیستم‌های طبیعی، علاوه بر خدمات مستقیم و ملموسی مانند تولید علوفه، طیف وسیعی از خدمات غیرمستقیم و حیاتی را ارائه می‌دهند که متأسفانه در بسیاری از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی نادیده گرفته می‌شوند. این در حالی است که ارزش واقعی این خدمات تنظیمی و حمایتی از ترسیب کربن و تولید اکسیژن تا حفاظت از خاک و تنوع زیستی نه تنها از جنبه

کارکردهای غیر علوفه‌ای پرداخته شود. نتایج این تحقیق می‌تواند مبنای علمی مستحکمی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های کلان در جهت حفاظت و بهره‌برداری پایدار از این اکوسیستم‌های ارزشمند فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کلاشک با مساحت ۹۱۱۰/۲ هکتار در غرب ایران و در فاصله ۵ کیلومتری شهرستان گیلانغرب در استان کرمانشاه واقع شده است. این حوضه که بین مختصات جغرافیایی "۴۰'۵۷° ۴۵° تا "۵۶'۵۰° ۴۵° طول شرقی و "۴۳'۰۲° ۳۴° الی "۱۸'۱۰° ۳۴° عرض شمالی قرار دارد، از نظر توپوگرافی در محدوده ارتفاعی ۸۵۹/۷ تا ۱۹۸۱/۱ متر از سطح دریا گسترده شده است (شکل ۱). از نظر هیدرولوژیکی، این حوضه شامل ۲۰ زیرحوضه بوده و سیستم زهکشی اصلی آن رودخانه کلاشک است. توزیع کاربری اراضی در این منطقه نشان می‌دهد که جنگل‌ها با ۵۰۶۶ هکتار (۵۵/۶ درصد) بیشترین سهم را داشته و پس از آن مراتع با ۲۹۹۴ هکتار (۳۲/۹ درصد)، اراضی کشاورزی با ۸۶۳ هکتار (۹/۵ درصد)، مناطق مسکونی با ۱۱۶ هکتار (۱/۳ درصد) و در نهایت سد کلاشک با ۷۱ هکتار (۰/۸ درصد) قرار دارند. این حوضه به دلیل برخورداری از مراتع گسترده و با کیفیت، به عنوان مراتع قشلاقی مورد استفاده دامداران محلی قرار می‌گیرد.

مطالعات درجه حرارت منطقه با استفاده از آمار ایستگاه‌های داخل و محیط بر آن صورت گرفته است. در محدوده‌ی مورد مطالعه، تعداد ۱۱ ایستگاه سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و تبخیرسنجی وجود دارد که طول دوره آماربرداری در آن‌ها متفاوت می‌باشد و آمار ایستگاه سد گیلانغرب به عنوان معرف برای آن‌ها در نظر گرفته شده

اکولوژیک، بلکه از منظر اقتصادی نیز بسیار جامع آن‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. این غفلت منجر به بهره‌برداری بی‌رویه، کاهش توان اکولوژیک و در نهایت تخریب این سرمایه‌های طبیعی ارزشمند شده است (TEEB, 2010).

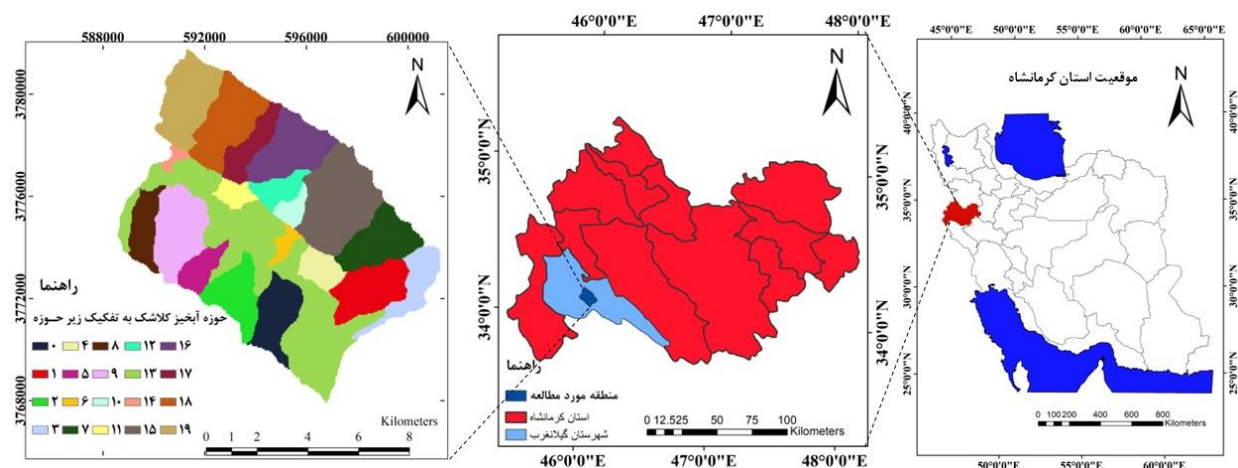
مراتع زاگرس یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی ایران هستند که نقش بسیار حیاتی در حفظ تعادل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی دارند که با تنوع گیاهی و جانوری بالا، منبع اصلی تأمین علوفه برای دام‌های عشایر و کشاورزان، و همچنین عامل مهمی در جلوگیری از فرسایش خاک و بیابان‌زایی به شمار می‌روند. علاوه بر این، در تنظیم آب و هوا، جذب دی‌اکسید کربن و حفظ منابع آب زیرزمینی نقش کلیدی دارند. این اکوسیستم‌ها همچنین بخش مهمی از فرهنگ و معیشت مردم محلی را تشکیل می‌دهند. با این حال، بهره‌برداری ناپایدار و فشارهای انسانی، تهدیدات جدی برای بقای این مراتع ایجاد کرده است که نیازمند مدیریت و حفاظت مستمر و علمی است.

این پژوهش با توجه به خلأ مطالعاتی موجود در زمینه ارزش‌گذاری خدمات مراتع در غرب کشور، به ویژه استان کرمانشاه، با هدف کمی‌سازی ارزش اقتصادی خدمات کلیدی مراتع حوزه آبخیز کلاشک طراحی شده است. تمرکز اصلی این مطالعه بر سه دسته از خدمات حیاتی شامل (۱) خدمات تنظیمی (کارکردهای ترسیب کربن و تولید اکسیژن)، (۲) خدمات حمایتی (کارکردهای تولید خاک و حفاظت از مواد مغذی) و (۳) خدمات تأمینی (کارکرد تولید علوفه) قرار دارد.

با توجه به اینکه کارکرد تولید علوفه به عنوان محصول اصلی مراتع می‌باشد، توجه و تمرکز سیاست‌گزاران و برنامه‌ریزان بر علوفه به عنوان تنها ارزش اقتصادی مراتع کشور و عدم اطلاع از سایر خدمات اکوسیستمی غیرعلوفه‌ای، موجب شد در این تحقیق به مقایسه ارزش هر هکتار مرتع از دو بعد ارزش علوفه‌ای و برخی از

Pistachio و Bromus-Astragalus. خاک‌های منطقه عمدتاً دارای بافت لومی تا لومی رسی با عمق متوسط و میزان مواد آلی بین ۱/۵ تا ۲/۵ درصد هستند. این حوزه از اهمیت اقتصادی-اجتماعی بالایی برای جوامع محلی برخوردار است که مهم‌ترین آن‌ها شامل تأمین علوفه دام‌های عشایری و روستایی، تأمین آب کشاورزی و شرب، کنترل سیلاب‌ها می‌شود.

است. بر اساس اطلاعات موجود از نظر اقلیمی، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۵۵۰/۹۴ میلی‌متر بوده و رژیم بارندگی آن از نوع مدیترانه‌ای با تمرکز بارش‌ها در فصل زمستان است. دوره خشکی منطقه بین ۵ تا ۶ ماه در سال به طول می‌انجامد. فرم زیستی غالب منطقه جنگلی و جامعه گیاهی آن بلوطستان می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام‌شده ۳ تیپ عمده گیاهی در حوزه وجود دارد که عبارت است از Quercus-Prunus، Quercus-.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کلاشک در ایران و استان کرمانشاه
Figure 1- Location of the Kalashk watershed in Iran and Kermanshah Province

برآورد هزینه‌های احتمالی ناشی از جایگزینی خدمات طبیعی اکوسیستم با روش‌های مصنوعی و فناورانه می‌پردازد. به عبارت دیگر، این روش هزینه‌ای را که جامعه باید برای ارائه همان خدمات به صورت مصنوعی متحمل شود، به عنوان ارزش اقتصادی آن خدمت اکوسیستمی در نظر می‌گیرد (Abdollahi & Ildarmi, 2022).

برآورد ارزش اقتصادی خدمات تنظیمی طراحی و استقرار پلات‌های مطالعاتی

بر اساس مطالعات پیشین (Nasri et al., 2017; Jafarzadeh et al., 2019)، به دلیل یکنواخت بودن

روش تحقیق

در گام نخست، کلیه نقشه‌های پایه موردنیاز شامل نقشه‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و خاک در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه و پردازش شدند. با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی منطقه، زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی با دقت تفکیک و نقشه‌برداری شدند. روش اصلی مورد استفاده در این تحقیق، روش هزینه-جایگزین به عنوان یکی از معتبرترین روش‌های ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات اکوسیستمی می‌باشد. این روش که در زمره رویکردهای ارزش‌گذاری مبتنی بر هزینه قرار می‌گیرد، به

پوشش گیاهی مرتعی، تعداد ۳۰ پلات (با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ سانتی متر) (Mesdaghi, 2003) با استفاده از طرح تصادفی-سیستماتیک در محیط GIS طراحی شد (ابعاد شبکه آماربرداری ۹۰۰×۱۰۰۰ متر) و روی نقشه پوشش گیاهی مرتعی منطقه پیاده سازی شد.

روش شناسی اندازه گیری ذخیره کربن اکوسیستم

در این تحقیق برای محاسبه ذخیره کربن اکوسیستم، از مجموع کربن موجود در زیتوده روزمینی، زیرزمینی، لاشبرگ و خاک استفاده شد (Jafarzadeh et al., 2019). **زیتوده لاشبرگ:** بعد از طراحی شبکه آماربرداری به عرصه مراجعه و در تمامی میکروپلات ها، درصد سنگریزه، درصد خاک لخت، درصد پوشش گیاهی و درصد لاشبرگ تخمین زده شد. بر اساس اطلاعات بدست آمده میزان زیتوده لاشبرگ مورد محاسبه قرار گرفت (Jafarzadeh et al., 2019).

زیتوده هوایی: به دلیل مخرب بودن برداشت کل پوشش گیاهی با روش قطع و توزین، در هر میکروپلات، ۲۵٪ پوشش گیاهی برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، درصد رطوبت آن ها اندازه گیری شد و نتیجه آن به کل پلات تعمیم داده شد (Jafarzadeh et al., 2019).

ضریب تبدیل به کربن آلی: برای محاسبه کربن زیتوده روزمینی، از روش احتراق زیتوده خشک در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت استفاده شد. در این روش، از طریق تفریق وزن اولیه نمونه های خشک شده (۲ گرم) و وزن خاکستر باقیمانده، میزان ماده آلی به دست می آید که بر اساس رابطه (۱) درصد کربن آلی محاسبه گردید (Yeganeh et al., 2015).

$$(۱) \quad \text{میزان زیتوده خشک} = \text{کربن ذخیره ای} \times ۰/۵$$

زیتوده زیرزمینی: با استفاده از روش غیرمستقیم و بر اساس دستورالعمل McDeacon (۱۹۹۷)، نسبت ریشه به زیتوده هوایی ۲۰ درصد در نظر گرفته شد.

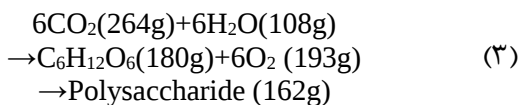
کربن خاک: در این تحقیق، نمونه برداری از عمق ۱۵-۰ سانتی متری با توجه به کم عمق بودن خاک زاگرس انجام شد و در ادامه با استفاده از روش والکی-بلاک (Walkley & Black, 1934)، درصد ماده آلی خاک محاسبه شد. سپس با اندازه گیری وزن مخصوص ظاهری خاک، میزان کربن ترسیب شده در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) بر اساس رابطه (۲) برآورد گردید (Jafari Foutami & Sheidai Karkaj, 2018).

$$(۲) \quad OC = 1000 \times OC (\%) \times Bd \times E$$

در این رابطه $OC (\%)$ درصد کربن آلی خاک، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)، E عمق نمونه برداری (cm)، OC ترسیب کربن خاک (kg/ha) می باشد.

روش شناسی محاسبه تولید اکسیژن

با استفاده از فرمول فتوسنتز (رابطه ۳)، مقدار اکسیژن تولید شده محاسبه شد. بر این اساس، برای تولید ۱۶۴ گرم ماده خشک، ۱۹۳ گرم اکسیژن آزاد می شود. با اندازه گیری زیتوده روزمینی و زیرزمینی، میزان دی اکسید کربن جذب شده بر اساس رابطه (۴) محاسبه گردید (Yeganeh et al., 2015).



(۴) $\text{میزان ترسیب کربن} = \text{کربن جذب شده}$
در این رابطه عدد ۳/۶۷ نسبت جرم مولکولی کربن به دی اکسید کربن است.

ارزش گذاری اقتصادی کارکردهای ترسیب کربن و تولید اکسیژن

با روش هزینه-جایگزین و بر اساس هزینه ذخیره سازی دی اکسید کربن به روش صنعتی (Nasri et al., 2017) محاسبه شد. در این روش ارزش کالا و خدمات بر حسب هزینه لازم برای جایگزین کردن خدمت اکوسیستمی مورد نظر با مکانسیم های انسان ساخت، محاسبه می شود (Mansouri & Badehian, 2019). همچنین ارزش اقتصادی کارکرد تولید اکسیژن با استفاده از هزینه تولید

صنعتی و پزشکی اکسیژن (Yeganeh et al., 2021) به دست آمد.

ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات حمایتی

برآورد ارزش اقتصادی کارکرد تولید خاک

در محاسبات مربوط به ارزش اقتصادی کارکرد تولید خاک در کاربری‌های جنگل و مرتع، فاکتور خاکزایی برای مناطق دارای پوشش جنگلی، ۱۰۰ درصد، برای مراتع با پوشش مناسب، بالای ۵۰ درصد و برای مراتع با پوشش ضعیف، پایین‌تر از ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود (Bostan et al., 2022). ابتدا حجم خاک تولید شده با استفاده از رابطه ۵ در کاربری مرتع، محاسبه شد. از نسبت حجم خاک تولیدشده به مدت زمان تشکیل خاک، میزان حجم سالیانه تولید خاک بر حسب مترمکعب به دست آمد. با توجه به مطالعات انجام‌شده (Yazdani, 2012; Amirnjad, 2012; & Abbasi, 2010) در این زمینه زمان لازم برای تشکیل یک سانتی‌متر خاک مرتع ۲۰۰ سال در نظر گرفته شد. با استفاده از اطلاعات خاک در مورد وزن مخصوص خاک، حجم خاک به تن محاسبه شد. ارزش اقتصادی کارکرد خاکزایی در کاربری مرتع با در نظر گرفتن هزینه زهکشی هر هکتار به عنوان هزینه جایگزین برآورد شد (Bostan et al., 2022).

$$TVS = S \cdot 0.01 \cdot F \quad (5)$$

در این رابطه، TVS حجم خاک تولید شده (مترمکعب)، S مساحت مرتع (مترمربع)، ۰/۰۱: میزان تولید خاک در ۲۰۰ سال (متر) و F فاکتور خاکزایی است.

برآورد ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت از مواد مغذی خاک

در این پژوهش به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های رسوب‌سنجی از مدل‌های تجربی برای برآورد فرسایش و

رسوب استفاده شد. مدل پسیاک اصلاح‌شده (MPSIAC)^۱ در قسمت‌های عمده‌ای از حوزه‌های آبخیز ایران در برآورد رسوب استفاده شده و از دقت کافی برخوردار است. این مدل مبتنی بر ۹ عامل است (جدول ۱). این عوامل عبارتند از زمین‌شناسی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه آبخیز و فرسایش رودخانه‌ای. امتیاز مربوط به هر کدام از عوامل ۹ گانه طبق جدول ۱ محاسبه گردید. سپس با جمع کلیه امتیازهای این عوامل، میزان رسوب سالانه در واحد سطح (رابطه ۶)، میزان ضریب رسوب‌زایی (رابطه ۷) و فرسایش سالانه حوزه آبخیز به تفکیک زیرحوضه‌ها (رابطه ۸) محاسبه شد (Rafahi, 2017).

$$Q_s = 38.77e^{0.0358R} \quad (6)$$

در این رابطه، Q_s میزان رسوب سالانه در واحد سطح، بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال، R درجه رسوب‌دهی حوزه آبخیز و e عدد نپر (۲/۷۱۸۲۸) است.

$$SDR = 46.7A^{0.02071} \quad (7)$$

در این رابطه SDR میزان ضریب رسوب دهی حوزه آبخیز و A مساحت حوزه آبخیز یا واحد هیدرولوژیک بر حسب مایل مربع است.

$$Es = \frac{SDR \times Q_s}{100} \quad (8)$$

در این رابطه Es فرسایش سالانه حوزه آبخیز بر حسب تن در کیلومترمربع در سال، SDR میزان ضریب رسوب‌دهی حوزه آبخیز و Q_s میزان رسوب سالانه حوزه آبخیز در واحد سطح است.

با توجه به این‌که هدف از انجام مطالعه برآورد میزان نگهداشت عنصر خاک در کاربری مرتع می‌باشد، به این منظور از مراکز پلات‌هایی که در مرحله قبلی جهت

لازم به ذکر است که برای تعیین ازت کل در نمونه‌های خاک از دستگاه کج‌دال، فسفر استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم از روش عصاره‌گیری استات آمونیوم و دستگاه فلیم فتومتر تعیین شدند (Jahani *et al.*, 2013).

برآورد خدمت تنظیمی (ترسیب کربن و تولید اکسیژن) که به صورت تصادفی- سیستماتیک در محیط GIS طراحی شد، تعداد ۳۰ نمونه خاک از مراکز قطعات نمونه برداشت شد. سپس با تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی، تغییرات میزان مواد مغذی خاک (N, P, K) محاسبه شد.

جدول ۱- پارامترهای مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آن (Rafahi, 2017)

Table 1- Parameters of MPSIAC model and how to score it (Rafahi, 2017)

عوامل موثر در فرسایش	معادله پارامتر	توصیف پارامترهای مدل
زمین‌شناسی سطحی	$Y1=X1$	X1 حساسیت سنگ‌ها در مقابل فرسایش
خاک	$X2=16.67 K$	K ضریب قابلیت فرسایش پذیری خاک
آب و هوا	$X3=0.2 P2$	P2 شدت بارش ۶ ساعته با دوره برگشت دو ساله (میلی‌متر)
رواناب	$X4=0.006R+10QP$	R ارتفاع آب جاری سالانه (میلی‌متر)، QP دبی ویژه پیک (مترمکعب بر ثانیه در هر کیلومتر مربع)
توپوگرافی	$X5=0.33 S$	S درصد اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی
پوشش زمین	$X6=0.2Pb$	Pb مقدار تاج پوشش (%)
کاربری اراضی	$X7=20-0.2Pc$	Pc مقدار تاج پوشش (%)
وضعیت فعلی فرسایش	$X8=0.25 S.S.F$	S.S.F امتیاز عالم سطحی خاک بر اساس روش اداره مدیریت اراضی BLM آمریکا
فرسایش رودخانه‌ای	$X9=1.67 S.S.F.g$	S.S.F.g نمره نهایی فرسایش خندقی در روش BLM

$$V=PNDN+PPDP+PPK \quad (۱۰)$$

در این رابطه PK، PP و PN به ترتیب قیمت عناصر پتاسیم، فسفر و نیتروژن در کودهای جانشین و V ارزش اقتصادی کل عناصر می‌باشد (Modaberi *et al.*, 2022).

برآورد ارزش اقتصادی خدمات تأمینی

برآورد قیمت علوفه مرتعی با استفاده از قیمت بازار به دلیل ناهمگن بودن از نظر اقتصادی (از نظر نوع گونه، درجه خوش‌خوراکی و مواد مغذی قابل هضم) و به دلیل مبادله نشدن در بازار امکان پذیر نیست. ظرفیت چرا در واقع حداکثر تعداد دامی است که در یک عرصه مرتعی مشخص، در زمان معین می‌تواند چرا کند، بدون اینکه بر کمیت و کیفیت پوشش گیاهی، خاک، آب و... خسارتی وارد کند. ظرفیت چرا یکی از مهم‌ترین ابزار اعمال مدیریت در عرصه‌های مرتعی می‌باشد. جهت تعیین ظرفیت تیپ‌های گیاهی نیاز به آماربرداری در طی یک دوره چندساله می‌باشد؛ زیرا ظرفیت تعیین شده در سطح

در مرحله بعدی فرسایش خاک از تفاضل میزان فرسایش کاربری بر میزان فرسایش کاربری زراعت به دست آمد. پس از محاسبه مقدار رسوب خاک، کل موادغذایی از دست رفته خاک به دلیل فرسایش با استفاده از رابطه ۹ محاسبه شد. در نهایت، با استفاده از روش هزینه- جایگزین (رابطه ۱۰)، ارزش نگهداری از مواد مغذی خاک در مرتع برآورد شد (Jafarzadeh *et al.*, 2019). از آن جا که به منظور جبران مواد مغذی هدررفته ناشی از فرسایش خاک نیاز به افزودن کود شیمیایی است، ارزش بازاری این کودها می‌تواند برآوردی از ارزش خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش خاک توسط اکوسیستم مرتعی باشد. بدین منظور از نرخ جهانی این کودها برای ارزش گذاری استفاده شده است (جدول ۲).

$$An= DnN+ DnP+ DnK \quad (۹)$$

در این رابطه An میزان کل موادغذایی از دست رفته خاک به دلیل فرسایش و مقادیر DnN، DnP و DnK عناصر از دست رفته در سال n ام، می‌باشد.

این روش بر مبنای محاسبه تولید علوفه خشک قابل دسترس دام و خوشخوراکی مناسب جهت استفاده دام می‌باشد (Soleiman & Lohmander, 2007).

مراعات همبستگی نزدیکی با شرایط اقلیمی و میزان بارندگی سالیانه دارد. برای تعیین ظرفیت چرای تیپ مرتعی مورد مطالعه، از بین روش‌های متداول تعیین ظرفیت، از روش قطع و توزین استفاده شده است. اساس

جدول ۲ - قیمت هر یک از کودهای شیمیایی محتوی نیتروژن فسفر و پتاسیم در سال ۱۴۰۳

Table 2 - The price of each of the chemical fertilizers containing nitrogen, phosphorus and potassium in 2024

نام کود	قیمت قیمت‌های جهانی کیلوگرم/دلار	درصد خلوص مواد مغذی در کودها	قیمت هر کیلوگرم از مواد مغذی کیلوگرم/ریال
اوره	0.255	اوره حاوی 46 درصد نیتروژن	33430.5
سوپر فسفات تریپل	0.478	سوپر فسفات تریپل حاوی ۲۰ درصد فسفر (معادل 46 درصد P_2O_5)	27246
کلروز پتاسیم	0.302	کلرید پتاسیم حاوی ۵۰ درصد پتاسیم (معادل 60 درصد K_2O)	43035

Source: <https://ycharts.com/indicators>

مرتفع، GP دوره چرای (روز) و AI نیاز روزانه دام (کیلوگرم ماده خشک در روز) است. در مرحله بعدی با در نظر گرفتن قیمت جو در سال ۱۴۰۳ به عنوان قیمت-جایگزین علوفه، ارزش اقتصادی تولید مستقیم مرتع از رابطه ۱۲ برآورد شد (Bostan et al., 2022).

$$Vp = Aum \times S \times A \times 30 \times P \quad (12)$$

در این رابطه Vp ارزش اقتصادی تولید مستقیم مرتع، Aum ظرفیت چرای (تعداد واحد دامی) و P قیمت جو در سال ۱۴۰۳ است.

نتایج

ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات تنظیمی

نتایج ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات تنظیمی (ترسیب کربن و تولید اکسیژن) در مراتع حوزه آبخیز کلاشک نشان‌دهنده عملکرد قابل‌توجه این اکوسیستم‌ها در

طبق اطلاعات موجود در طرح تفصیلی حوزه آبخیز کلاشک تمام علوفه قابل برداشت و استفاده دام در هر پلات برداشت شده و در داخل پاکت‌های کاغذی جمع-آوری گردیده و سپس مجاور هوای آزاد خشک و وزن خشک علوفه برداشتی مورد محاسبه قرار گرفته است و ارقام به‌دست آمده به کل سطح تیپ مرتعی تعمیم داده شده است. با در دست داشتن ظرفیت چرای ماهانه (Aum) (رابطه ۱۱) که مشخص کننده تعداد واحد دامی در هر هکتار مرتع در یک ماه است (Yari et al., 2024). مقدار علوفه مصرفی توسط دام در سطح مراتع حوضه (Soleiman & Lohmander, 2007). محاسبه شد.

$$Aum = \frac{AF \times A}{GP \times AI} \quad (11)$$

در این رابطه Aum ظرفیت چرای ماهانه (تعداد واحد دامی)، AF مقدار علوفه قابل استفاده دام، A مساحت

ترسیب کربن و تولید اکسیژن است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در ۳۰ پلات مطالعاتی، میانگین ترسیب کربن ۲۴/۹۶ تن در هکتار (مجموعاً ۷۴۷۳۰/۲۴ تن در سطح حوضه) برآورد شد که سهم بخش خاک با ۲۱/۷۴ تن در هکتار (۸۷ درصد از کل) به‌عنوان مهم‌ترین مخزن کربن شناسایی گردید (جدول ۳). با اعمال نرخ ۳۵ دلار برای هر تن دی‌اکسیدکربن (Hashemnejad Rahimabadi et al., 2024) و نرخ ارز ترجیحی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۴۰۳ (معادل ۲۸۵۰۰۰ ریال)، ارزش اقتصادی این کارکرد ۲۴۸۹۷۶ هزار ریال در هکتار محاسبه شد.

در بخش تولید اکسیژن، محاسبات مبتنی بر فرمول فتوسنتز نشان داد که هر هکتار از مراتع حوضه به‌طور

میانگین سالانه ۳/۷ تن در هکتار (۱۱۰۷۷/۸ تن برای کل حوضه) اکسیژن تولید می‌کند که معادل تأمین نیاز سالانه ۱۲ نفر است (جدول ۴). با در نظر گرفتن هزینه تولید صنعتی اکسیژن (۱۳۶,۱۶۱ هزار ریال به ازای هر تن)، ارزش اقتصادی این کارکرد ۵۰۳,۷۹۵ هزار ریال در هکتار برآورد گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده، سهم تولید اکسیژن با ۶۴ درصد از کل ارزش، اهمیت بیشتری نسبت به ترسیب کربن (۳۱ درصد) دارد. این یافته‌ها به‌وضوح نشان می‌دهد که مراتع نه‌تنها از نظر اکولوژیک، بلکه از جنبه اقتصادی نیز نقش حیاتی در تنظیم چرخه‌های بیوژئوشیمیایی و تعدیل تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند.

جدول ۳- خلاصه آماره‌های میزان ترسیب کربن در کاربری مرتع

Table 3 - Summary of statistics on carbon sequestration in rangeland land use

پارامتر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	1.55	1.42	1.79	0.10
عمق خاک (cm)	15	15	15	0
سنگریزه (%)	21.1	9	33	5.99
پوشش گیاهی (%)	49.2	37	65	6.85
خاک لخت (%)	20.2	9	30	5.85
لاشبرگ (%)	9.5	3	15	3.05
کربن آلی خاک (%)	1.89	1.14	3.1	0.50
ماده آلی خاک (%)	3.23	1.96	5.34	0.87
زیتوده هوایی (kg/ha)	2595.46	2065.86	2724.54	172.56
زیتوده لاشبرگ (kg/ha)	2844.3	898.2	4491	913.86
زیتوده زیرزمینی (kg/ha)	519.09	413.17	544.90	34.51
ترسیب کربن زیتوده هوایی (t/ha)	1.40	1.11	1.47	0.093
ترسیب کربن زیتوده زیرزمینی (t/ha)	0.28	0.22	0.29	0.018
ترسیب کربن زیتوده لاشبرگ (t/ha)	1.54	0.49	2.43	0.49
ترسیب کربن خاک (t/ha)	21.74	15.08	41.85	6.76
ترسیب کربن کل (t/ha)	24.96	16.9	46.06	7.37

جدول ۴- خلاصه آماره‌های میزان تولید اکسیژن در کاربری مرتع

Table 4 - Summary of statistics on oxygen production in rangeland land use

پارامتر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
تولید اکسیژن زیتوده هوایی (kg/ha)	3088.60	2458.37	3242.20	205.37
تولید اکسیژن زیتوده زیر زمینی (kg/ha)	519.09	413.17	544.90	34.51
تولید اکسیژن کل (kg/ha)	3706.69	2950.04	3890.64	246.42
تولید اکسیژن (t/ha)	3.7	2.9	3.8	2.4

ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات حمایتی

کارکرد تولید خاک

بر اساس مطالعات انجام‌شده، فاکتور خاکزایی برای مراتع حوزه آبخیز کلاشک با پوشش گیاهی متوسط تا خوب، ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. با احتساب مساحت ۲۹۹۴ هکتاری مراتع این حوضه، محاسبات نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۰ سال، حدود ۲۳۹۵۲۰ مترمکعب خاک تولید شده است. این مقدار معادل تولید سالانه ۱۱۹۷/۶ مترمکعب خاک می‌باشد که با اعمال ضریب تبدیل ۱/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای وزن مخصوص خاک، میزان تولید سالانه خاک به ۱۸۵۶/۲۸ تن رسید. با توجه به عمق مؤثر ریشه گیاهان مرتعی (۰/۳ متر) و محاسبات انجام‌شده (Bostan et al., 2022)، مشخص گردید که مراتع این حوضه سالانه قادر به تولید خاک حاصلخیز در مساحتی معادل ۰/۶۱ هکتار هستند. با در نظر گرفتن هزینه سیستم‌های زهکشی در سال ۱۴۰۳ که بالغ بر ۵۹۷ میلیون ریال برای هر هکتار می‌باشد (اداره آب منطقه‌ای شهرستان گیلانغرب، ۱۴۰۳)، ارزش اقتصادی کل این کارکرد در سطح حوضه ۳۶۴۱۷۰ هزار ریال و ارزش آن برای هر هکتار مرتع ۱۲۱ هزار ریال برآورد شد. این نتایج حاکی از نقش قابل‌توجه مراتع در تولید و حفظ خاک حاصلخیز است، هرچند که ارزش اقتصادی محاسبه‌شده در مقایسه با سایر کارکردهای اکوسیستمی پایین‌تر به نظر می‌رسد. این تفاوت عمدتاً ناشی از بازه زمانی طولانی موردنیاز برای تشکیل خاک (۲۰۰ سال برای هر سانتی‌متر) و روش محاسبه مبتنی بر هزینه‌های

جایگزینی است. با این وجود، اهمیت این خدمت از نظر اکولوژیک و نقش آن در حفظ حاصلخیزی خاک‌های منطقه، بسیار فراتر از ارزش مالی محاسبه‌شده می‌باشد.

کارکرد حفاظت از مواد مغذی خاک

به منظور برآورد ارزش میزان موادغذایی حفظ شده در مراتع حوضه، میزان عناصرغذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در خاک منطقه مطالعاتی در آزمایشگاه خاکشناسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۵). ابتدا میزان فرسایش در وضعیت فعلی حوضه به تفکیک زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از امتیازات عوامل ۹ گانه مدل پسیاک اصلاح شده محاسبه شد (جدول ۶). در مرحله بعدی از روی هم‌گذاری نقشه‌های واحدهای هیدرولوژیکی حوضه و نقشه پوشش گیاهی (تیپ‌های جنگلی و مرتعی) در نرم‌افزار GIS، میزان فرسایش در کاربری‌های زراعت، جنگل و مرتع بر حسب تن در هکتار مورد محاسبه قرار گرفت (شکل ۲). طبق نتایج به دست‌آمده از نقشه نهایی میزان فرسایش برای کاربری‌های مختلف، بیشترین شدت فرسایش به‌ترتیب مربوط به کاربری‌های زراعت (دیم و آبی) با میزان ۱۷/۴۳ تن در هکتار، کاربری مرتع (تیپ *Bromus-Astragalus*) با میزان ۱۳/۸۵ تن در هکتار و کاربری جنگل با میزان ۱۲/۰۶ تن در هکتار بود (شکل ۲).

در مرحله بعدی، میزان تفاوت در فرسایش کاربری‌ها با کاربری که بیشترین میزان شدت فرسایش در حوضه را داشته است محاسبه گردید. در این مطالعه بیشترین میزان فرسایش در هکتار مربوط به کاربری زراعت

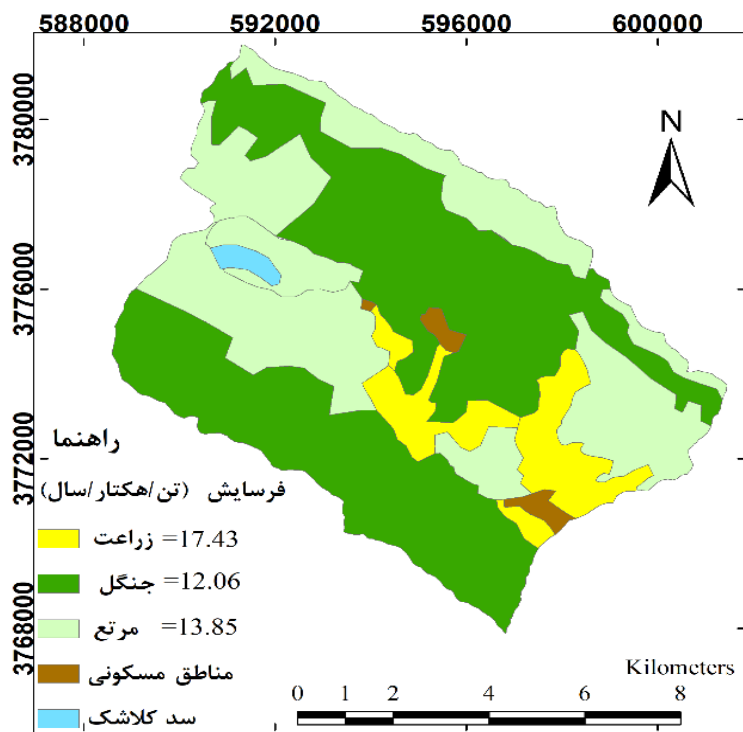
مرتعی محاسبه گردید. در نهایت میزان ارزش در هکتار عناصر حفظ شده توسط اکوسیستم مرتعی با ضرب کردن نرخ واقعی هر یک از عناصر سه گانه برآورد شد. طبق نتایج به دست آمده ارزش کل عناصر غذایی حفظ شده در هر هکتار ۱۸۱۵ هزار ریال محاسبه شد (جدول ۷).

می باشد. طبق نتایج به دست آمده میزان کاهش فرسایش خاک توسط کاربری مرتعی نسبت به اراضی کشاورزی منطقه ۳/۵۸ تن در هکتار محاسبه شد. با ضرب نمودن مقدار هر یک از عناصر مورد نیاز گیاه در خاک (پتاسیم، فسفر و نیتروژن) در میزان اختلاف فرسایش بین دو کاربری، میزان حفاظت از عناصر مغذی خاک در کاربری

جدول ۵- نتایج مربوط به تجزیه خاک مراتع منطقه مورد مطالعه

Table 5- Results of soil analysis of rangelands in the study area

پارامتر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	1.55	1.42	1.79	0.10
عمق خاک (cm)	15	15	15	0
شوری (Dsm^{-1})	0.50	0.37	0.64	0.07
رس (%)	20.17	13	26	3.79
سیلت (%)	32.82	23	41	3.93
شن (%)	46.62	35	63	7.38
نیتروژن کل (%)	0.16	0.09	0.26	0.04
فسفر قابل جذب (mg/kg)	14.70	11.26	17.66	1.84
پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	268.37	335	202.03	36.14



شکل ۲- میزان فرسایش در کاربری های دارای پوشش گیاهی (زراعت، جنگل و مرتع)

Figure 2- The amount of erosion in land use with land cover (Agriculture, Forest and Rangeland)

جدول ۶- برآورد میزان فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه به تفکیک زیرحوضه

Table 6- Estimated erosion and sedimentation rates in the study area by sub-basin

واحد هیدرولوژیکی	مساحت (km ²)	مجموع امتیازات ^۹ گانه	میزان رسوب Q _s =38.77e ^{0.035R}	ضرب رسوبدهی SDR(%)	رسوب ویژه ton/km ²	فرسایش ویژه ton/km ² /y	فرسایش کل ton/y	فرسایش ton/ km ² /year	فرسایش ton/ ha/year
0	4.184	72.77	524.55	0.51	713.39	13988.03	5852.59	1398.80	13.98
1	4.984	61.69	352.81	0.49	479.82	9792.18	4880.42	979.21	9.79
2	4.075	74.97	567.53	0.51	771.84	15134.15	6167.16	1513.41	15.13
3	3.514	67.38	432.51	0.52	588.21	11311.75	3974.95	1131.17	11.31
4	2.03	46.51	204.90	0.56	278.67	4976.19	1010.17	479.62	4.97
5	2.02	83.1	759.24	0.56	1032.57	18438.69	3724.62	1843.87	18.43
6	0.866	49.99	232.08	0.63	315.64	5010.09	433.87	504.5	5.04
7	4.945	72.62	521.74	0.50	709.57	14191.38	7017.64	1419.13	14.19
8	2.897	59.64	327.84	0.53	445.87	8412.60	2437.13	841.25	8.41
9	5.947	70.66	486.39	0.48	661.49	13781.07	8195.60	1378.10	13.78
10	1.186	72.55	520.44	0.61	707.79	11603.17	1376.14	1160.32	11.60
11	1.279	52.4	253.72	0.30	345.06	5751.01	735.55	575.09	5.75
12	1.94	70.14	477.42	0.57	649.29	11391.09	2209.87	1139.10	11.39
13	20.462	72.82	525.49	0.41	714.67	17430.91	35667.13	1743.09	17.43
14	0.513	50.08	232.83	0.68	316.65	4656.68	238.89	465.67	4.65
15	9.348	69.45	465.77	0.45	633.45	14076.70	13158.90	1407.67	14.07
16	5.752	73.13	531.35	0.48	722.64	15055.04	8659.66	1505.50	15.05
17	2.829	73.48	538.05	0.54	731.75	13550.98	3833.57	1355.09	13.55
18	6.16	75.81	584.85	0.48	795.40	16570.88	10207.66	1657.08	16.57
19	6.169	71.99	510.11	0.48	693.75	14453.05	8919.08	1445.30	14.45
کل	91.102	67.06	452.48	0.52	615.38	11978.78	107811.50	1183.43	11.83

جدول ۷- ارزش هر هکتار از کاربری مرتع در حفاظت از مواد مغذی اصلی خاک (ریال)

Table 7- The value of each hectare of rangeland land use in protecting the main nutrients of the soil (Rials)

مساحت (ha)	نیترژن حفظ شده ton/y	ارزش کل (ریال)	ارزش حفاظت از نیتروژن هکتار / ریال	فسفر حفظ شده ton/y	ارزش کل (ریال)	ارزش حفاظت از فسفر هکتار / ریال	پتاسیم حفظ شده ton/y	ارزش کل (ریال)	ارزش حفاظت از پتاسیم هکتار / ریال	ارزش کل حفاظت از سه ماده مغذی هکتار / ریال
2994	17.14	1715558317	572998	0.15	12236178.6	4086.9	28.76	3705633680	1237686	1815072

ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات تامینی

هدف از تعیین ظرفیت چرای دام، بیان میزان پتانسیل مراتع جهت تولید علوفه، بررسی وجود تعادل دام و مرتع در منطقه و برآورد میزان ارزش اقتصادی حاصل از تولید علوفه (فرآیند مرتعداری) می‌باشد. میزان علوفه قابل

استفاده ۹۵۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه شده است (مطالعات مرحله تفصیلی- اجرایی حوزه آبخیز کلاشک). با استفاده از اطلاعات به دست آمده، ارزش اقتصادی علوفه قابل دسترس در کاربری مرتعی برای یک دوره ۱۵۰ روزه، ۸۸۴۴۴۸۵۵ هزار ریال (۲۹۵۴۰ هزار ریال در هکتار) محاسبه شده است (جدول ۸).

جدول ۸- برآورد ارزش اقتصادی علوفه قابل دسترس در کاربری مرتع

Table 8- Estimated economic value of available forage in rangeland land use

تیپ گیاهی	بروموس - گون (Bromus- Astragalus)
مساحت (هکتار)	2994
تولید کل (کیلوگرم در هکتار)	2490
	کل قابل استفاده
نیاز روزانه دام (کیلوگرم/ روز)	950
ظرفیت واحد دامی در دوره (150روزه)	2
ظرفیت واحد دامی (A.U.M) (هکتار در ماه)	9481
قیمت یک کیلوگرم جو دولتی (ریال)	0.63
ارزش اقتصادی علوفه در ماه (هزار ریال)	156300
ارزش اقتصادی علوفه در دوره 150روزه (هزار ریال)	17,688,971
ارزش اقتصادی علوفه در دسترس (هزار ریال/ هکتار)	88,444,855
	29,540

غیرمجاز دام در کاربری مرتع (در هکتار) می باشد (جدول ۹). طبق نتایج به دست آمده ارزش اقتصادی هر هکتار از مراتع منطقه مورد مطالعه معادل ۷۸۴,۲۴۷ هزار ریال در هکتار محاسبه شد (جدول ۱۰).

با توجه به اینکه ظرفیت چرای فعلی کاربری مرتع حوضه ۹۴۸۱ واحد دامی محاسبه شده است و جمعیت دامی هایی که از تیپ مرتعی استفاده می کنند ۱۲۰۱۸/۸ واحد دامی می باشد؛ این میزان نشان دهنده عدم تعادل بین میزان کل واحد دامی و ظرفیت فعلی و تعداد

جدول ۹- مقایسه ظرفیت چرای فعلی و تعداد دام موجود در کاربری مرتع منطقه مورد مطالعه

Table 9- Comparison of current grazing capacity and number of livestock in the rangeland land use of the study area

انواع دام	تعداد دام (راس)	ضریب تبدیل به واحد دامی	کل واحد دامی
گاو و گوساله	445	4	1780
گوسفند و بره	9230	1	9230
بز و بزغاله	1261	0.8	1008/8
جمع	10936	-	12018.8

جدول ۱۰- ارزش اقتصادی کارکردهای اکوسیستم

Table 10- Economic value of Functions services

ردیف	کارکردهای اکوسیستم	ارزش اقتصادی (هزار ریال / هکتار)
۱	تولید اکسیژن	503,795
۲	ترسیب کربن	248,976
۳	تولید علوفه	29,540
۴	حفاظت از مواد مغذی خاک	1,815
۵	تولید خاک	121
مجموع	-	784,247

بحث

این پژوهش با به‌کارگیری روش هزینه-جایگزین، ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستمی مراتع حوزه آبخیز کلاشک را مورد ارزیابی قرار داده است. یافته‌ها به‌وضوح نشان می‌دهند که این مراتع علی‌رغم نادیده گرفته شدن در برنامه‌ریزی‌های توسعه، از ارزش اقتصادی قابل توجهی برخوردارند. مطالعات نشان می‌دهد هر ۲/۵ تن اکسیژن می‌تواند نیاز سالانه ۸ نفر را تامین نماید (Zamolodchikov et al., 2003). در این تحقیق، میانگین تولید اکسیژن مراتع حوضه ۳/۷ تن در هکتار محاسبه شد که بیانگر توانایی هر هکتار مرتع در تأمین نیاز سالانه ۱۲ نفر است. در مقیاس کل حوضه، این مقدار معادل تأمین اکسیژن موردنیاز ۳۵۹۲۸ نفر می‌باشد. در مقایسه با مطالعه Yeganeh و همکاران (۲۰۲۱) در حوضه تهم زنگان (۱/۵۶ تن در هکتار) نشان‌دهنده عملکرد بهتر مراتع مورد مطالعه است که عمدتاً ناشی از تراکم بالاتر پوشش گیاهی (۴۳ درصد در مقابل ۳۵-۳۰ درصد) و شرایط اکولوژیک مطلوب‌تر می‌باشد. وجود پوشش گیاهی به‌طور معمول اثر مثبت بر چرخه مواد مغذی خاک دارد اما میزان تاثیر در بین گونه‌ها متفاوت است و گونه‌های گیاهی با ویژگی‌های خود دارای تاثیر متفاوتی بر محیط رشد خود هستند. با مطالعه ارتباطات بین گونه‌ها و خاک می‌توان به وسعت این اثرات و نوع آن پی برد و در مدیریت پوشش گیاهی و خاک لحاظ نمود (Thompson et al., 2005). در خصوص ترسیب کربن، میانگین ترسیب کربن در مراتع حوضه ۲۴/۹۶ تن در هکتار برآورد شد که ۸۷ درصد آن (۲۱/۷۴ تن) در بخش خاک ذخیره شده است. این الگوی ذخیره‌سازی با یافته‌های Iranmanesh و همکاران (۲۰۱۹) و Mofidi Chelan و همکاران (۲۰۲۱) در دیگر مناطق زاگرس همخوانی دارد و نشان می‌دهد ذخیره‌سازی کربن در خاک نتیجه فرآیندهای بلندمدت ناشی از فعالیت پوشش گیاهی است که طی زمان، از طریق تولید لاشبرگ و تجزیه تدریجی آن، موجب انتقال مواد

آلی به خاک و انباشت کربن می‌شود (Mousavi, 2011)؛ بنابراین توجه به حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش خاک نقش مهمی در حفظ ارزش اقتصادی کربن خواهد داشت (Mofidi Chelan et al., 2021). خاک مراتع یکی از اجزای محیطی مهم می‌باشد که دارای رابطه نزدیکی با پوشش گیاهی می‌باشد (Mohebbali et al., 2021). مطالعات نشان می‌دهد گونه‌های گیاهی پس از استقرار و گسترش، به شدت ویژگی‌های خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Johnson et al., 2016). در مجموع مراتع حوزه آبخیز کلاشک سالیانه ارزشی معادل ۷۵۲,۷۷۱ هزار ریال در هکتار از لحاظ کارکرد تنظیمی (ترسیب کربن و تولید اکسیژن) دارند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده ارزش بالای مراتع حوزه آبخیز کلاشک در ترسیب کربن و تولید اکسیژن است. می‌توان استنباط کرد که هرچه پوشش مراتع غنی‌تر باشد و وسعت آن بیشتر باشد، توانایی مرتع در ترسیب کربن و تولید اکسیژن بیشتر می‌شود (Ebadi et al., 2019). موضوع توجه به اثرات افزایش گازهای گلخانه‌ای و چالش‌های ناشی از آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیامدهای آن بر محیط زیست، به ویژه در ابعاد اقتصادی و اجتماعی، نیازمند توجه ویژه‌ای است. این مسئله می‌تواند به عنوان راهی برای جذب سرمایه‌گذاری‌های مناسب و حفظ منابع پایدار در آینده مطرح شود.

نتایج این پژوهش به وضوح نشان می‌دهد که مراتع حوزه آبخیز کلاشک نقش حیاتی در حفاظت از خاک و جلوگیری از فرسایش ایفا می‌کنند. با میانگین فرسایش ۱۳/۸۵ تن در هکتار، این مراتع عملکرد بهتری نسبت به اراضی کشاورزی منطقه (۱۷/۴۳ تن در هکتار) دارند که با یافته‌های Mousavi (۲۰۱۱) و Jafarzadeh و همکاران (۲۰۱۹) در سایر مناطق زاگرس همخوانی دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، مراتع مورد مطالعه سالانه از هدررفت ۳۵۸۰ کیلوگرم خاک در هکتار جلوگیری می‌کنند که ارزش اقتصادی

کارکرد حفاظت از مواد مغذی خاک را به ۱/۸ میلیون ریال در هکتار می‌رساند. در مقایسه با مطالعه Abbasi و همکاران (۲۰۲۳) که محاسبه کردند هر هکتار از مراتع سلمان استان قم می‌تواند سالانه از هدررفت عناصر مغذی به ارزش تقریبی ۰/۳۳ میلیون ریال جلوگیری کند ارزش بالاتری محاسبه شده است. این تفاوت نشان دهنده‌ی تخریب اکوسیستم مراتع سلمان، به دلیل فرسایش بسیار زیاد (فرسایش خاک ۳۵/۶۸ تن در هکتار)، شرایط خاص اکولوژیک، روش‌شناسی پژوهش و قیمت‌های محلی می‌باشد. Dehdari و همکاران (۲۰۲۵) در مراتع ورگر شهرستان آبدانان استان ایلام به دلیل انجام برخی از روش‌های اصلاحی، خاک دارای میانگین بالاتری از عناصر غذایی برای رشد گیاه هستند که در بهبود شرایط مرتع موثر بوده است که موجب ایجاد پوشش گیاهی متراکم و علفی، تهویه مناسب خاک، افزایش درصد لاشبرگ و تجزیه آن و افزایش میزان ماده آلی خاک، نیتروژن فسفر و پتاسیم شده است که در نتیجه ارزش اقتصادی به دلیل تغییر عملکرد عناصر اصلی خاک تحت تاثیر عملیات اصلاحی ۱۵/۹ میلیون ریال محاسبه شده است که در مقایسه با این تحقیق تقریباً ۹ برابر افزایش داشته است و نشان می‌دهد عملیات‌های اصلاحی یکی از ابزارهای رایج مدیریت مرتع در دهه‌های اخیر هستند.

نکته حائز اهمیت این است که مراتع نه تنها از جنبه اکولوژیک، بلکه از نظر اقتصادی نیز به عنوان سیستم‌های طبیعی کنترل فرسایش عمل می‌کنند و سالانه از خسارات قابل توجهی به منابع خاک و سرمایه‌گذاری‌های کشاورزی جلوگیری می‌نمایند. این یافته‌ها بر ضرورت حفظ و احیای پوشش گیاهی مراتع به عنوان راهکاری کارآمد و مقرون به صرفه برای مقابله با فرسایش خاک تأکید دارد. تفاوت در نتایج ارزش گذاری‌های انجام شده در مناطق مختلف، لزوم توسعه روش‌های بومی و دقیق‌تر برای برآورد خدمات اکوسیستمی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. مطالعه حاضر ارزش اقتصادی کارکرد تولید خاک در مراتع حوزه آبخیز کلاشک را ۱۲۱۶۳۳ ریال در هکتار برآورد

کرده است. این رقم در مقایسه با پژوهش‌های مشابه داخلی از جمله مطالعه Bostan (۲۰۲۲) با مقدار ۳۴۶۹۴ ریال در هکتار و تحقیق Arabzadeh و همکاران (۲۰۱۲) با مقدار ۴۷۶۹ ریال در هکتار، نشان‌دهنده طیف گسترده برآوردهای ارزش اقتصادی این خدمت اکوسیستمی است. در سطح بین‌المللی، پژوهش Abulizi و همکاران (۲۰۱۷) در مراتع چارچان چین ارزش بسیار بالاتری معادل ۶۵۰۵ دلار در هکتار را گزارش کرده‌اند. این تفاوت‌های چشمگیر عمدتاً ناشی از عوامل متعددی شامل روش‌شناسی‌های متفاوت ارزش گذاری، شرایط اکولوژیک خاص هر منطقه، کیفیت و حاصلخیزی خاک و همچنین تفاوت در قیمت‌های محلی و نرخ‌های تبدیل ارز می‌باشد. اگرچه مراتع نقش حیاتی در پشتیبانی از فرآیندهای زیست‌محیطی دارند، اما نمی‌توان اهمیت کارکردهای تولیدی آنها را نادیده گرفت. این کارکردها به طور مستقیم با معیشت ساکنان محلی و زندگی روزمره بهره‌برداران پیوند خورده‌اند (Ebadi et al., 2019). تولید علوفه به عنوان محصول اصلی مراتع، منبع تغذیه دام در بسیاری از مناطق به ویژه جوامع روستایی محسوب می‌شود و نقش مهمی در اقتصاد محلی ایفا می‌کند (Rahimi Dehcheraghi et al., 2021). در این مطالعه ارزش اقتصادی کارکرد تولید علوفه در مراتع کلاشک ۲۹,۵۴۰,۷۰۰ ریال در هکتار برآورد شده است که در مقایسه با مطالعات بین‌المللی مانند پژوهش Sandhu و همکاران (۲۰۲۳) در هند (۴۴/۴۷ دلار در هکتار) و Naime و همکاران (۲۰۲۰) در مناطق استوایی (۱۶۵/۹۸ دلار در هکتار) قرار می‌گیرد. با این حال، چالش اصلی در بهره‌برداری پایدار از مراتع، مدیریت صحیح چرای دام است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که چرای مازاد بر ظرفیت مراتع، تهدیدی جدی برای پایداری این اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود. مطالعات متعدد از جمله Warren و همکاران (۲۰۰۱) و Mirzaee Moosivand و Tarnian (۲۰۲۰) تأثیر منفی چرای بی‌رویه را بر کاهش پوشش گیاهی و تخریب خاک تأیید کرده‌اند. نتایج این پژوهش نیز

این مطالعه برای نیل به مدیریت پایدار مراتع است. این مطالعه با ارائه مقایسه‌ای نظام‌مند از یافته‌ها در کنار پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی، تصویر جامعی از ارزش اقتصادی مراتع زاگرس ارائه می‌دهد که می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی قرار گیرد. با این حال، این اکوسیستم ارزشمند با تهدیداتی همچون چرای بی‌رویه دام، تغییر کاربری اراضی، فرسایش آبی و تغییرات الگوی بارش‌ها مواجه است که لزوم توجه ویژه به مدیریت پایدار آن را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه تشکر و قدردانی می‌شود.

Resources

- Abbasi, M., Jafary, M., Tavili, A., Rafiee, H., & Khalighi, Sh. (2023). An economic evaluation of the effect of rangeland ecosystems degradation on the loss of soil nutrients (Case study: rangelands of Salman in Qom). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 30(1), 91-100. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2023.128953> (In Persian)
- Abdollahi, S., & Ildarmi, A. (2022). Ecosystem Services Valuation; Concepts and Methods. *Humans & Environment*, 20(1), 1-18 (In Persian)
- Abulizi, A., Yang, Y., Mamat, Z., Luo, J., Abdulslam, D., Xu, Z., Zayiti, A., Ahat, A., & Halik, W. (2017). Land-use change and its effects in Charchan Oasis, Xinjiang, China. *Land Degradation & Development*, 28(1), 106-115. <https://doi.org/10.1002/ldr.2530>
- Amimjad, H. (2012). *Natural Resource Economics, Second Edition*, Sari, 374 (In Persian)
- Arabzadeh, Z. (2012). *Economic value of environmental functions of rangelands of Khorasan Razavi Province, Master's thesis in Agricultural Economics, Faculty of Agriculture*, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. (In Persian)
- Baskent, E. Z. (2021). Assessment and valuation of key ecosystem services provided by two forest ecosystems in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 285, 112-135. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112135>
- Bostan, Y. (2022). The Economic value of production and regulation functions of rangeland ecosystems (Case study: Forage production services, Waste treatment and soil formation). *Management of Natural Ecosystems*, 2(2), 1-12. <https://doi.org/10.22034/emj.2022.254138> (In Persian)
- Chen, Y., Kou, W., Ma, X., Wei, X., Gong, M., Yin, X., Li, J., & Li, J. (2022). Estimation of the Value of Forest Ecosystem Services in Pudacuo National Park, China. *Sustainability*, 14(17), 10-55. <https://doi.org/10.3390/su141710550>
- Dehdari, S., Khorsandi Kouhanestani, Z., & Noedoost, F. (2025). Economic valuation of ecosystem services in the context of ecological sustainability (Case study: Vargar basin pastures). *Journal of Social*

حاکمی از عدم تعادل میان تعداد دام و ظرفیت مراتع منطقه است که با یافته‌های Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۱۷) همسو می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق، شرایط ضرورت اتخاذ راهبردهای مدیریتی هوشمندانه را آشکار می‌سازد. از یک سو باید به نیازهای معیشتی جوامع محلی توجه شود و از سوی دیگر، سلامت اکوسیستم‌های مرتعی حفظ گردد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای سیاست‌گذاری‌های خردمندانه در زمینه تلفیق بهره‌برداری اقتصادی و حفاظت از مراتع فراهم آورد. برنامه‌ریزی برای تعادل بخشی میان ظرفیت مراتع و تعداد دام، بهبود روش‌های چرای و سرمایه‌گذاری در احیای پوشش گیاهی از جمله راهکارهای پیشنهادی

- Business*, 1(2), 46-56.
<https://doi.org/10.22059/jsbu.2025.391739.1014> (In Persian)
- Ebadi, N., Javadi, S.A., & Moghaddasi, R. (2019). Economic valuation of natural ecosystems services in Malahshoreh and Gorgo rangelands in Boyer Ahmad region, *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 10(1), 65-80. (In Persian)
- Eskandari Nasab, H., Amirtaimoori, S., Zare Mehrjerdi, M. R., Mirzaei Khalilabadi, H.R., & Baniasadi, M. (2023). Ecosystem Services Valuation of Rig-Ishaqabad Rangeland in Iran: Provisioning and Regulating Services of Rangeland Vegetation Types. *Journal of Agricultural Information Science Technology*, 25(2), 267-284.
<https://doi.org/10.52547/jast.25.2.267> (In Persian)
- Ghoreyshi, R., Motamedi, J., & Sheidai Karkaj, E. (2014). Estimating Economic Value of Carbon Sequestration Services in Rangelands with Replacement Cost Method (Case Study: Khoy Dizaj Batchy Rangeland). *Environmental Sciences*, 12(2), 55-64. (In Persian)
- Grunwald, A. (2018). Diverging pathways to overcoming the environmental crisis: A critique of eco-modernism from a technology assessment perspective. *Journal of Clean Production*, 197(18), 54-62.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.212>
- Hashemnejad Rahimabadi, A., Mohamadi-Nejad, A., Amirnejad, H., & Moghaddasi, R. (2024). Valuation of Market and Non-Market Goods and Services of the Forest Ecosystem of Northern Iran (Hyrcanian Forests), *Journal of Environmental and Natural Resources Economics*, 4(8), 103-136.
<https://doi.org/10.22054/eenr.2024.80304.188> (In Persian)
- Hosseinzadeh, A., Heidari, Gh., Barani, H., & Zali, H. (2017). Effects of livestock number on range condition (Case study: Shahsavani nomads of Meshginshahr city). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(3), 513-523.
<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.113359> (In Persian)
- Iranmanesh, Y., Jahanbazi Gojani, H., Shirmardi, H. A., Shamsodini, S., & Habibi, M. (2020). Economic valuation of carbon sequestration, O₂ and forage production in the Gandoman wetland. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 7(2), 262-275.
<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2020.122766.1752> (In Persian)
- Jafari Foutami, I., & Sheidai Karkaj, E. (2018). Investigation the causes of uncertainty in methods for estimating soil organic carbon storage. *Journal of Range and Watershed Management*, 71(1), 61-71.
<https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.20681.4.1009> (In Persian)
- Jafarzadeh, A., Mahdavi, A., Fallah Shamsi, S., & Yousefpour, R. (2020). Economic evaluation of some of the most important ecosystem services in Zagros forests. *Environmental Sciences*, 18(1), 137-150.
<https://doi.org/10.29252/envs.18.1.137> (In Persian)
- Jahani, Sh. (2013). Economic valuation of the function of soil nutrient conservation (NPK) in the Manasht-Vaqalrang protected area. *Master's thesis, Malayer University*, 119. (In Persian)
- Johnson, B. G., P. S. Verburg., & J. A. Arnone. (2016). Plant species effects on soil nutrients and chemistry in arid ecological zones. *Oecologia*, 182(1), 299-317.
<https://doi.org/10.1007/s00442-016-3655-9>
- Keivan Behjou, F., & Firouzi Asl, M. (2018). Economic evaluation of rangeland ecosystems for preserving important soil nutrients in Moghan rangelands. *Journal of Rangeland*, 11(4), 499-510 (In Persian)
- Logsdon, R.A., & Chaubey, I. (2013). quantitative approach to evaluating ecosystem services. *Ecological Modelling*, 257, 57-65.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.009>
- Macdicken, K.G. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects, making. *Ecological Economics*, 68(3), 643- 653.
- Mansouri, M., & Badehian, Z. (2019). Using replacement cost method to determining the economic value of carbon sequestration in *Quercus brantii* in the Zavli protected area. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 7(14), 151-168. (In Persian)
- Mesdaghi, M. (2003). *Rangeland Management in Iran*. Astan Quds Razavi Publications, 333 pages. (In Persian)

- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) Syn-thesis Report. *Island Press*, Washington, D.C. (2005).
- Mirzaee Moosivand, A., & Tarnian, F.A. (2020). Comparison of vegetation and soil characteristics in two tracts of rangeland, grazed and non-grazed (Case study: Northeast of Delfan County, Lorestan). *Journal of Rangeland*, 4(2), 171-183. (In Persian)
- Modaberi, A., Mahdavi, A., & Amirnejad, H. (2022). Estimation of the Economic Value of Soil Nutrition Protection in Zagros Forest Ecosystems (Case Study: Noujian Watershed in Khoramabad). *Ecology of Iranian Forests*, 10(19), 127-135. <https://doi.org/10.52547/ifej.10.19.127> (In Persian)
- Mofidi Chelan, M., Sheidai Karkaj, A., & Ghoreyshi, R. (2021). Estimation of economic value of carbon sequestration at Inchehbrun salt lands, Golestan. *Journal of Rangeland*, 15(2), 269-281 (In Persian)
- Mohebali, A., Erfanzadeh, R., & Jafari, M. (2021). Different effects of woody species with different crown structure on some of the most important qualitative characteristics of soil (Case study: rangelands of Haluposhteh, Baladeh Noor, Mazandaran province). *Journal of Rangeland*, 15(1), 110-122 (In Persian)
- Mousavi, S.A. (2011). *Appropriate land management by designing a planning support system based on the economic values of ecosystem functions (case study: Taleghan Mianeh sub-basin)*. PhD thesis, University of Tehran. (In Persian)
- Naime, J., Mora, F., Sanchez-Martínez, M., Arreola, F., & Balvanera, P. (2020). Economic valuation of ecosystem services from secondary tropical forests: trade-offs and implications for policy making. *Forest Ecology and Management*, 473, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118294>
- Nasri, M., Ghorbani, M., Jafari, M., Azarnivand, H., & Rafiei, H. (2016). Estimating the economic value of carbon sequestration function in arid and semi-arid rangelands (study area: Malard County). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(2), 396-403. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2016.107040> (In Persian)
- Rahimi Dehcheraghi, M., Arzani, H., Azarnivand, H.F., Jafari, M., & Zare Chahoki, M.A. (2021). Selection of rangeland management methods and appropriate grazing systems in rangelands of Mazandaran province (Case study of Lar Absar rangelands). *Management of Natural Ecosystems*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.22034/emj.2021.248867> (In Persian)
- Refahi, Hossein Gholi. (2017). *Water Erosion and Its Control*, University of Tehran, 551 pages. (In Persian)
- Refahi, Hosseingholi. (2017). *Water Erosion and Its Control*, University of Tehran, 551 pages.
- Sandhu, H., Zhang, W., Meinzen-Dick, R., ElDidi, H., Perveen, S., Sharma, J., Kaur, J., & Priyadarshini, P. (2023). Valuing ecosystem services provided by land commons in India: implications for research and policy. *Published by IOP Publishing Ltd*, 1-13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acadf4>
- Shamkhi, T., & Mirmohammadi, S.M. (2012). Challenges of Iran's forests and rangelands and suggestions for solving the problems. *Strategic report of the Deputy for Economic Research*, 150 Report code 4-8-91-12.
- Soleiman, M.L., & Lohmander, P. (2007). *Stumpage Prices in Iranian caspian forests*. Asian Subak, S. Forest certification eligibility as a screen for CDM sinks projects. *Climate Policy*, 2, 335-351. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.1027.1036>
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity. *Ecological and Economic Foundations* (Edited by Pushpam Kumar). London: Routledge, 456p.
- Thompson, D. B., Walker, L. R., Landau, F. H., & Stark, L. R. (2005). The influence of elevation, shrub species, and biological soil crust on fertile islands in the Mojave Desert, USA. *Journal of Arid Environments*, 61(4), 609-629. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.09.013>
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a

- proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil science*, 37(1), 29-38
- Warren, A., Batterbury, S., & Osbahr, H. (2001). Soil erosion in the West African Sahel: A review and an application of a local political ecology approach in South West Niger, Global Environment. *Journal of Change-Human Policy Dimens*, 11(1), 79-95. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00047-9)
- Yari, R., Zare, Sh., & Mirmiran, S.M. (2024). Economic evaluation of forage production in Rangelands of Chaharbagh village, Golestan province. *Rural Development Strategies*, 11(1), 137-150. <https://doi.org/10.22048/rdsj.2024.397175.2100> (In Persian)
- Yazdani, S., & Abbasi, A. (2010). Estimating the economic value of environmental benefits of forests (Case study: Saltworks section of Khairud forest in Nowshahr city), *Agricultural Economics Research*, 28(1), 73-85. (In Persian)
- Yeganeh, H., Azarnivand, H., Saleh, I., Arzani, H., & Amirnejad, H. (2015). Estimation of economic value of the gas regulation function in rangeland ecosystems of Taham watershed basin. *Journal of Rangeland*, 9(2), 106-119. (In Persian)
- Yeganeh, H., Azarnivand, H., Pourbagher, S., & Saleh, A. (2021). Water conservation functionality of rangeland ecosystems in Taham watershed of Zanjan, Iran. *Journal of Rangeland*, 1, 12-23. (In Persian)
- Zamolodchikov, D. G., Korovin, G. N., & Utkin, A. I. (2002). Mitigation potential for carbon sequestration through forestry activities in Russia. Internet. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 6, 213-232. <https://doi.org/10.1016/B978-008044276-1/50313-5>
- Zhengfeng, a., Edward, B., Xinyi, D., Cole, G., Cameron, C., & Scott, Ch. (2022). Quantifying past, current, and future forest carbon stocks within agroforestry systems in central Alberta, Canada. *GCB BIOENERGY*, 14(14), 621-706. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12934>

Systematic analytical review of evaluation methodologies for water resources adequacy in arid and semi-arid watersheds

Somayeh Mohammadi Jouzdani

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

Email: Mohammadi24@ymail.com

(Received: 30 Jun 2025

Revised: 29 July 2025

Accepted: 17 September 2025)

Extended Abstract

Introduction: Evaluating the water resources adequacy in watersheds to meet local community needs is critically important—particularly in arid and semi-arid regions where water scarcity and environmental stress are significant. In the context of ongoing climate change and unsustainable water management practices, a comprehensive and multidimensional evaluation of water adequacy—encompassing quantitative, qualitative, institutional, and social dimensions—is essential. In Iran, as a country with a large proportion of arid and semi-arid regions, the necessity of addressing this issue is increasingly apparent. Accordingly, a systematic review of indicators and models for assessing water adequacy, accompanied by critical analysis and identification of research gaps, can provide a reliable foundation for developing evaluation frameworks that are suited to national conditions. Previous studies—largely based on approaches involving quantitative indicators, qualitative measures, institutional-social metrics, and simulation or decision-making models—have made significant contributions. However, they also exhibit several limitations, including a narrow focus on one or two dimensions (e.g., solely quantitative or qualitative), lack of context-specific indicators for dry regions with variable precipitation and limited resources, insufficient attention to social components such as local community resilience, distributive justice, and indigenous knowledge, and the absence of integrated conceptual frameworks that combine indicators with modeling tools and the actual needs of watershed inhabitants. Only a limited number of studies have succeeded in integrating productivity indicators, simulation models, and institutional measures to offer a comprehensive picture of water adequacy. Moreover, most existing research has not adequately addressed the specific needs of watershed communities in arid regions in terms of livelihoods, resilience, and participation. This review article comprehensively analyzes the most critical indicators, models, and challenges related to the evaluation of water resource adequacy in watershed areas, with a particular emphasis on the applicability and adaptability of these approaches to watersheds in arid and semi-arid environments.

Materials and methods: This critical analytical review study was conducted through a comprehensive search of international databases (Scopus, ScienceDirect), academic search engines (Google Scholar), and nationally credible databases (SID, Magiran), with source selection based on scientific credibility and thematic relevance. Through an analytical framework, the identified indices and models were categorized into six distinct groups: (1) quantitative indicators, (2) qualitative indicators, (3) institutional-social indicators, (4) productivity and indirect consumption measures, (5) risk and resilience metrics, and (6) simulation and decision-making models for water adequacy assessment. Each category was examined to identify its advantages, implementation challenges, and limitations, with particular emphasis on arid and semi-arid regions. The final synthesis focused on analyzing studies employing integrated approaches.

Results and Discussion: The review of 130 selected scientific studies reveals that, foremost, quantitative indicators are among the primary tools used to assess water resource adequacy in watersheds. At more advanced levels of analysis, qualitative indicators—particularly in studies concerned with environmental aspects—have received increasing attention. Additionally, indicators of indirect water use, such as water footprint, virtual water, and economic–physical productivity, have enabled recent studies to explore the water–livelihood nexus at both micro and macro scales. Institutional and resilience-related indicators—such as stakeholder participation, institutional flexibility, and the adaptive capacity of local systems—have opened new perspectives for understanding socio-structural sustainability in the context of water adequacy evaluations. Given the complexity introduced by limitations such as the lack of reliable data, institutional fragmentation, and environmental challenges, integrating various indicators and models—while considering the specific characteristics of arid and semi-arid regions, including those in Iran—is essential for delivering more accurate and practical assessments of water adequacy. Moreover, greater emphasis on institutional-social dimensions, as well as on risk and resilience, contributes to a deeper and more comprehensive understanding of the issue, and lays the foundation for the development of sustainable water resource management policies and strategies.

Conclusion: To enhance the effectiveness of evaluations, there is a need for up-to-date field data, coherent conceptual frameworks tailored to the specific region under study, and cross-sectoral collaboration. Future research must develop dynamic indicators and integrated, empirically-grounded models that address the evolving needs of watershed communities in arid and semi-arid regions and to support the achievement of sustainable water security. This study can provide valuable insights for water resource managers and policymakers to improve decision-making and promote sustainable resource management.

Keywords: Water resources adequacy, Evaluation indicator, Arid and semi-arid regions, Water resources assessment

Citation: Mohammadi Jouzdani, S. (2026). Systematic analytical review of evaluation methodologies for water resources adequacy in arid and semi-arid watersheds. *Integrated Watershed Management*, 6(2), 130-155. doi=10.22034/iwm.2025.2064423.1234

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



مرور تحلیلی نظام‌مند روش‌های ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز خشک و

نیمه‌خشک

سمیه محمدی جوزدانی

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

*نویسنده مسئول: mohammadi24@ymail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

چکیده مبسوط

مقدمه: ارزیابی کفایت منابع آب حوزه‌های آبخیز برای تأمین نیازهای آبخیزنشینان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که محدودیت‌های آبی و فشارهای زیست‌محیطی قابل توجه است، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار منابع آب، تحلیل جامع و چندبعدی کفایت منابع آب از جنبه‌های کمی، کیفی، نهادی و اجتماعی ضروری است. در ایران به‌عنوان کشوری با وسعت قابل توجه از مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضرورت توجه به این موضوع بیش از پیش حس می‌شود. از این رو، مرور نظام‌مند شاخص‌ها و مدل‌های ارزیابی کفایت منابع آب، همراه با تحلیل انتقادی و شناسایی خلأهای پژوهشی، می‌تواند مبنای قابل اعتمادی برای توسعه چارچوب‌های ارزیابی متناسب با شرایط کشور فراهم آورد. مطالعات پیشین که بیشتر بر اساس رویکردهایی همچون استفاده از شاخص‌های کمی، شاخص‌های کیفی، شاخص‌های نهادی-اجتماعی و مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری انجام شده، پیشرفت‌های مهمی داشته‌اند، اما با کاستی‌هایی همچون تمرکز صرف بر یک یا دو بعد (مثلاً تنها کمی یا تنها کیفی) و بدون نگاه سیستمی، فقدان شاخص‌های مناسب بومی برای مناطق خشک با نوسانات بارندگی و منابع محدود، کم‌توجهی به مؤلفه‌های اجتماعی مانند تاب‌آوری جوامع محلی، عدالت توزیعی و دانش بومی و نیز نبود چارچوب مفهومی یکپارچه برای ترکیب شاخص‌ها با مدل‌ها و نیازهای آبخیزنشینان روبرو بوده‌اند. مطالعات محدودی توانسته‌اند با ترکیب شاخص‌های بهره‌وری، مدل‌های شبیه‌سازی، و شاخص‌های نهادی، تصویری جامع از کفایت منابع ارائه دهند. همچنین، در اغلب مطالعات، نیازمندی‌های خاص آبخیزنشینان مناطق خشک، از منظر معیشت، تاب‌آوری و مشارکت، به‌طور کامل بررسی نشده‌اند. هدف از این مقاله مروری، ارائه تحلیلی جامع از کلیدی‌ترین شاخص‌ها، مدل‌ها و چالش‌های ارزیابی کفایت منابع آب حوزه‌های آبخیز برای آبخیزنشینان، با تأکید ویژه بر سازگاری این روش‌ها برای حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه مروری تحلیلی-انتقادی با جستجوی هدفمند در پایگاه‌های بین‌المللی (ScienceDirect و Scopus)، موتورهای جستجوی علمی (Google Scholar) و پایگاه‌های معتبر ملی (SID و Magiran) انجام شد. منابع بر اساس اعتبار علمی و ارتباط موضوعی انتخاب و شاخص‌ها و مدل‌ها در چهارچوبی تحلیلی بر اساس شناخت و بررسی (۱) شاخص‌های کمی، (۲) شاخص‌های کیفی، (۳) شاخص‌های نهادی-اجتماعی، (۴) بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم، (۵) ریسک و تاب‌آوری، (۶) مدل‌های شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری در زمینه ارزیابی کفایت منابع آب دسته‌بندی شدند. سپس در هر گروه، مزایا، چالش‌ها و محدودیت‌های کاربرد آن‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناسایی و در بخش‌های مطالعات مبتنی بر رویکردهای ترکیبی تحلیل گردید.

نتایج و بحث: بررسی ۱۳۰ مطالعه علمی انتخاب شده نشان داد که نخست معیارهای کمی از مهم‌ترین ابزارهای سنجش کفایت منابع آب در حوزه‌ها هستند. در سطح بالاتری از مطالعات، شاخص‌های کیفی به ویژه برای مطالعات مرتبط با محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند. از سویی، شاخص‌های مصرف غیرمستقیم منابع آب مانند ردپای آب، آب مجازی و بهره‌وری اقتصادی-فیزیکی، امکان تحلیل پیوند آب و معیشت در سطوح خرد و کلان را در مطالعات اخیر، فراهم کرده‌اند. در نهایت، شاخص‌های نهادی و تاب‌آوری مانند سطح مشارکت ذی‌نفعان، انعطاف‌پذیری نهادی و ظرفیت تاب‌آوری سیستم‌های محلی، افق جدیدی برای درک پایداری اجتماعی-ساختاری در ارزیابی کفایت آب ایجاد کرده‌اند. از آنجایی که محدودیت‌هایی مانند کمبود داده‌های دقیق، عدم هماهنگی نهادی و چالش‌های محیطی، روند ارزیابی را پیچیده می‌سازد، ترکیب شاخص‌ها و مدل‌ها با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله ایران، برای ارائه ارزیابی دقیق‌تر و کاربردی‌تر کفایت منابع حیاتی است. به‌علاوه، تأکید بر ابعاد نهادی-اجتماعی، ریسک و تاب‌آوری، به درک عمیق‌تر و جامع‌تر این مسئله کمک می‌کند و زمینه‌ساز توسعه سیاست‌ها و راهبردهای پایدار مدیریت منابع آب می‌شود.

نتیجه‌گیری: برای ارتقاء کارایی ارزیابی‌ها، نیاز به داده‌های میدانی به‌روز، چارچوب‌های مفهومی منسجم متناسب با منطقه مورد مطالعه و همکاری بین‌بخشی وجود دارد. پژوهش‌های آینده باید به سمت توسعه شاخص‌های پویا و مدل‌های یکپارچه بر اساس داده‌های واقعی حرکت کنند تا بتوانند پاسخگوی نیازهای متغیر آبخیزنشینان در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشند و به تضمین امنیت آبی پایدار کمک کنند. این مطالعه می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران منابع آب در بهبود تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: کفایت منابع آب، شاخص ارزیابی، مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارزیابی منابع آب

استناد: محمدی جوزدانی، س. (۱۴۰۵). مرور تحلیلی نظام‌مند روش‌های ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۶(۲)، ۱۳۰-۱۵۵.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

آب به عنوان یکی از حیاتی‌ترین منابع طبیعی، نقش محوری در توسعه پایدار و معیشت جوامع آبخیزنشین ایفا می‌کند. ارزیابی کفایت منابع آب حوزه‌های آبخیز برای تأمین نیازهای آبخیزنشینان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منابع آب محدود و شرایط اقلیمی نامساعد است، اهمیت فراوانی دارد. مفهوم کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز از نگاه تأمین صرف نیازهای شرب و کشاورزی فراتر رفته و اکنون شامل معیارهای متنوعی چون بهره‌وری، پایداری اکولوژیکی، عدالت اجتماعی و امنیت آبی نیز شده است (Gleick, 1998; Falkenmark & Rockström, 2004). در ابتدا، ارزیابی‌ها عمدتاً مبتنی بر محاسبه سرانه منابع آب تجدیدپذیر یا نسبت برداشت به منابع تجدیدپذیر بود، که در آن مقادیر ثابت سالانه با جمعیت یا مصارف سالانه مقایسه می‌شدند. با گذر زمان، ضرورت رویکردهای یکپارچه و سیستمی که بتوانند ابعاد کمی، کیفی، اقتصادی، و نهادی را تلفیق کنند، پررنگ‌تر شد (Hoekstra et al., 2011). در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، این تحول به‌صورت تدریجی رخ داده و در سال‌های اخیر، مدل‌ها و شاخص‌های پیچیده‌تری همچون ردپای آب، بهره‌وری اقتصادی آب، شاخص فشار، و شاخص ریسک خشکسالی وارد تحلیل‌ها شده‌اند (Karandish & Hoekstra, 2017). با توجه به تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار منابع آب، تحلیل جامع و چندبعدی کفایت منابع آب از جنبه‌های کمی، کیفی، نهادی و اجتماعی ضروری است. در ایران به‌عنوان کشوری با وسعت قابل توجه از مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضرورت توجه به این موضوع بیش از پیش حس می‌شود. مطالعات انجام شده در این راستا، غالباً بر شاخص‌های کمی متمرکز بوده و ابعاد کیفی، نهادی و تأثیرات اجتماعی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Rafiei-Sardooi et al., 2022). از این رو، مرور نظام‌مند شاخص‌ها و مدل‌های ارزیابی کفایت منابع آب، همراه با تحلیل انتقادی و شناسایی خلأهای پژوهشی،

می‌تواند مبنای محکمی برای توسعه چارچوب‌های ارزیابی متناسب با شرایط ایران فراهم آورد. هدف از این مقاله مروری، معرفی و تحلیل انتقادی مهمترین شاخص‌ها، مدل‌ها، چهارچوب‌ها و ترکیب آن‌ها و همچنین مزایا و چالش‌های کاربرد آن‌ها در ارزیابی کفایت منابع آب حوزه‌های آبخیز برای آبخیزنشینان، با تأکید ویژه بر سازگاری این روش‌ها برای مناطق خشک و نیمه‌خشک است. شناخت و کاربرد این شاخص‌ها در مطالعات می‌تواند در بهبود تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران بخش آب برای مدیریت جامع و پایدار منابع آب یاری رساند.

تحول ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز و روش تحقیق

منظور از کفایت منابع آب در این مطالعه، توانایی سیستم در تأمین مقدار آب مورد نیاز برای رفع نیازهای مشخص در یک محدوده جغرافیایی، در بازه زمانی معین، با در نظر گرفتن معیارهای پایداری و کیفیت قابل قبول است. تاکنون مطالعات ارزیابی کفایت منابع آب که نیاز آبخیزنشینان را مدنظر دارد، بیشتر بر اساس رویکردهایی همچون استفاده از: (۱) شاخص‌های کمی، (۲) شاخص‌های کیفی، (۳) شاخص‌های نهادی-اجتماعی و (۴) مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری انجام شده است. این مطالعات در چهار دسته یادشده پیشرفت‌های مهم داشته‌اند، اما با کاستی‌هایی همچون تمرکز صرف بر یک یا دو بعد (مثلاً تنها کمی یا تنها کیفی) بدون نگاه سیستمی، فقدان شاخص‌های مناسب بومی برای مناطق خشک با نوسانات بارندگی و منابع محدود، کم‌توجهی به مؤلفه‌های اجتماعی مانند تاب‌آوری جوامع محلی، عدالت توزیعی و دانش بومی و نیز نبود چارچوب مفهومی یکپارچه برای ترکیب شاخص‌ها با مدل‌ها و نیازهای آبخیزنشینان روبرو بوده‌اند. این مطالعه مروری تحلیلی-انتقادی به روش جستجوی هدفمند در پایگاه‌های بین‌المللی (Scopus و ScienceDirect) و موتورهای جستجوی علمی (Google Scholar) و

پایگاه‌های معتبر ملی (SID و Magiran) انجام شد. انتخاب منابع بر اساس معیارهای اعتبارسنجی همچون انتشار در مجلات معتبر، ارتباط مستقیم با موضوع و نوآوری مفهومی یا کاربردی صورت گرفته است. پس از غربالگری اولیه، منابع نهایی در چهارچوبی تحلیلی مورد ارزیابی قرار گرفتند که حاصل آن دسته‌بندی جامع شاخص‌ها در ابعاد: (۱) کمی، (۲) کیفی، (۳) اجتماعی-نهادی و (۴) مدل‌های شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری بوده است. برای جامعیت بیشتر ارزیابی، دو رویکرد بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم و مطالعات مبتنی بر ریسک و تاب‌آوری و به‌ویژه رویکردهای ترکیبی اضافه گردید. سپس چالش‌ها و محدودیت‌های کاربرد آن‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناسایی و مورد بررسی واقع گردید.

۱- مطالعات مبتنی بر شاخص‌های کمی کلیدی

ارزیابی کمی منابع آب، یکی از بنیادی‌ترین ارکان مدیریت پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود؛ مناطقی که به واسطه ویژگی‌های اقلیمی، با محدودیت‌های شدیدی در عرضه منابع و افزایش فشار تقاضا مواجه هستند. شاخص‌های کمی در این بستر، ابزاری کلیدی برای سنجش اولیه وضعیت موجود و تصمیم‌گیری آگاهانه درباره تخصیص منابع محسوب می‌شوند (FAO, 2012).

یکی از شاخص‌های پایه و حیاتی در این حوزه، دبی جریان^۱ است که به عنوان شاخص اصلی تامین منابع آب سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاهش دبی جریان به دلیل بارش‌های محدود و الگوی پراکندگی نامناسب، چالش‌های جدی در مدیریت منابع آب ایجاد می‌کند (Milly et al., 2005). به همین دلیل، پایش مستمر و دقیق دبی جریان در این مناطق برای مدیریت و تخصیص بهینه منابع ضروری است. علاوه بر آن، شاخص ضریب رواناب^۲ در شناسایی مقدار آبی که

می‌تواند به صورت روان آب سطحی در دسترس قرار گیرد، کاربرد فراوان دارد (Huang et al., 2016). بارش مؤثر^۳ نیز شاخص مهمی است که به بخشی از بارش اشاره دارد که پس از کسر تبخیر و نفوذ عمیق، به صورت روان آب یا ذخیره قابل استفاده باقی می‌ماند. در شرایط اقلیمی خشک، با توجه به نرخ بالای تبخیر، این شاخص در تعیین منابع قابل بهره‌برداری آب اهمیت فراوانی دارد. همچنین، ذخیره آب زیرزمینی^۴ به عنوان منبع اصلی آب در این مناطق شناخته می‌شود (Ebrahimipour et al., 2015). حجم ذخیره و نرخ تغذیه سفره‌های زیرزمینی نقش اساسی در پایداری تأمین آب ایفا می‌کند. برداشت بیش از حد و عدم تجدید ذخایر آب زیرزمینی می‌تواند منجر به پدیده‌های مخرب زیست‌محیطی نظیر فرونشست زمین و کاهش کیفیت آب شود. لذا، ارزیابی و پایش ذخیره آب زیرزمینی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی کفایت منابع آب در مناطق خشک است (Thomas et al., 2017).

از دیگر شاخص‌های کمی که در مطالعات تحلیل کفایت منابع نقش اساسی داشته‌اند، می‌توان به شاخص تنش آبی^۵، اشاره کرد که نسبت میزان برداشت آب به منابع تجدیدپذیر را می‌سنجد و از سوی نهادهایی نظیر UN-Water و بانک جهانی برای رتبه‌بندی کشورها از نظر فشار آبی به کار می‌رود. Madani (۲۰۱۴) با استفاده از این شاخص، وضعیت هشداردهنده کمبود منابع آبی در بسیاری از نقاط کشور از جمله در حوضه‌های زاینده‌رود و دریاچه ارومیه را بیان نموده است.

شاخص برداشت نسبی آب^۶ نیز با رویکردی مشابه، میزان فشار وارده از سوی مصرف‌کنندگان مختلف بر منابع آبی را می‌سنجد. این شاخص به‌ویژه در ارزیابی اثرات برداشت بیش از حد از منابع زیرزمینی در استان‌های یزد، کرمان و خراسان جنوبی به‌کار رفته است (Alizadeh & Keshavarz, 2005).

4. Groundwater Storage
5. Water Stress Index
6. Water Withdrawal Ratio

1. River Discharge
2. Runoff Coefficient
3. Effective Precipitation

کمی، رویکردی تلفیقی و ضروری در تحلیل کفایت منابع آب در این مناطق به‌شمار می‌رود. در این زمینه، شاخص‌هایی چون شاخص کیفیت آب^۳ (WQI) جایگاه ویژه‌ای دارند. شاخص WQI با تجمع پارامترهای کلیدی کیفیت آب مانند pH، DO^۴، BOD^۵، TDS^۶ و نیترات، یک ارزیابی عددی از وضعیت کلی آب ارائه می‌دهد که امکان مقایسه و طبقه‌بندی مناطق مختلف را فراهم می‌سازد (Tyagi et al., 2013). در آبخوان ساوه-نوبران، این شاخص مبنای تصمیم‌گیری برای استفاده از منابع زیرزمینی در مصرف شرب قرار گرفته است (Sadat-Noori et al., 2014).

در مناطق خشک ایران که میزان شوری خاک و تبخیر بالا از پدیده‌های رایج هستند، شاخص‌هایی مانند هدایت الکتریکی^۷ (EC)، نسبت جذب سدیم^۸ (SAR) و باقیمانده کربنات سدیم^۹ (RSC) اهمیت بیشتری می‌یابند. این شاخص‌ها نشانگر میزان خطر شورشدگی یا قلیایی شدن خاک در اثر آبیاری با منابع با کیفیت پایین هستند و در مطالعاتی از حوضه‌های مختلف ایران به‌عنوان شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت آب برای کشاورزی یا شرب مورد بررسی قرار گرفته است (Pashahkha et al., 2022; Mohammadi Arasteh et al., 2024). از سوی دیگر، در مناطقی که تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری یا صنعتی قرار دارند، برای ارزیابی آلودگی‌های ارگانیک استفاده از شاخص BOD^{۱۰} و برای ارزیابی آلاینده‌های شیمیایی کاربرد شاخص COD^{۱۰} ضروری است. در ایران Jalali و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود به بررسی و مقایسه آلودگی خاک‌های کشاورزی در ۴۶ سایت کشاورزی از ۱۷ استان ایران با استفاده از ردیابی عناصر (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) پرداختند. همچنین، Alizadeh

همچنین شاخص‌های مربوط به خشکسالی هیدرولوژیکی، مانند شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و شاخص استاندارد شده تبخیر-تعرق مؤثر^۱ (SPEI)، ابزارهای مهمی در شناسایی دوره‌های کم‌آبی و مدیریت بحران آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آیند (McKee et al., 1993). در نهایت، ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن سطحی^۲ به عنوان شاخصی برای سنجش توانایی ذخیره آب در فصول پربابی و استفاده در دوره‌های کم‌آبی مطرح است. این شاخص در مناطق خشک که منابع سطحی محدود و ناپایدار است، اهمیت بسیار بالایی دارد و مستقیماً با توانایی تأمین آب پایدار برای آبخیزنشینان ارتباط دارد (Wurbs, 2005). در مجموع می‌توان گفت، تمرکز بر شاخص‌های کمی به عنوان پایه‌های اصلی ارزیابی کفایت منابع آب حوزه‌های آبخیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود و شناخت و پایش این شاخص‌ها برای مدیریت جامع، پایدار و علمی منابع آب، ضروری خواهد بود.

۲- مطالعات مبتنی بر شاخص‌های کیفی کلیدی

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارزیابی کفایت منابع آب نمی‌تواند صرفاً بر پایه شاخص‌های کمی استوار باشد. کیفیت منابع موجود، به‌ویژه در شرایطی که منابع جایگزین کمی وجود دارد، به یکی از مؤلفه‌های اصلی تعیین کفایت منابع برای جمعیت آبخیزنشین بدل شده است (UNEP, 2016). کیفیت پایین منابع، چه ناشی از شوری طبیعی، چه به دلیل ورود آلاینده‌های کشاورزی و شهری، عملاً ظرفیت بهره‌برداری را محدود کرده و حتی منابع موجود را به منابعی ناکارا و غیرقابل استفاده تبدیل می‌کند (WWAP, 2018). از این‌رو، بررسی شاخص‌های کیفی آب در کنار شاخص‌های

6. Total Dissolved Solids
7. Electrical Conductivity
8. Sodium Adsorption Ratio
9. Residual Sodium Carbonate
10. Chemical Oxygen Demand

1. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
2. Reservoir Storage Capacity
3. Water Quality Index
4. Dissolved Oxygen
5. Biochemical oxygen demand

همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود نشان دادند که در منطقه دشت تهران - کرج غلظت نیترات بیش از سطح استاندارد برای مصارف نوشیدنی است که اثرات مخرب برای کودکان و افراد آسیب‌پذیر می‌تواند داشته باشد. نکته حائز اهمیت آن است که کیفیت منابع آب نه تنها برای شرب، بلکه برای مصارف کشاورزی، دامداری و صنعتی نیز باید ارزیابی شود. در مجموع، مرور ادبیات نشان می‌دهد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ترکیبی از شاخص‌های عمومی مانند WQI، شاخص‌های ویژه برای شوری و قلیائیت مانند SAR و RSC، و شاخص‌های مرتبط با آلودگی‌های شیمیایی و بیولوژیک باید به کار گرفته شود.

۳- مطالعات مبتنی بر شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم منابع آب

در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت شدید منابع آب روبه‌رو هستند، داشتن آب کافی به تنهایی ضامن تأمین پایدار نیازهای مختلف آبخیزنشینان، نخواهد بود، بلکه بهره‌وری در استفاده از آب، چه در سطح مزرعه، چه در سطح منطقه و بخش اقتصادی، اهمیت فراوان دارد. در چنین شرایطی، شاخص‌های بهره‌وری آب و مصرف غیرمستقیم آن، به ابزاری تحلیلی برای ارزیابی کارآمدی و کفایت منابع بدل شده‌اند (Hoekstra, 2019; FAO, 2020). در این راستا، یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها، بهره‌وری فیزیکی آب^۱ (WP) است که میزان محصول تولیدی (معمولاً به کیلوگرم) را نسبت به حجم آب مصرف‌شده می‌سنجد. این شاخص، در مطالعات متعددی در اقلیم‌های مختلف ایران برای مقایسه‌ی عملکرد مصرف آب در بین محصولات مختلف به کار رفته است (Farahza et al., 2020; Asadi et al., 2023; Habibi et al., 2024).

در کنار شاخص WP، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب^۲ (EWP) قرار دارد که ارزش اقتصادی محصول را به ازای واحد حجم آب مصرف‌شده بررسی می‌کند. این شاخص،

به‌ویژه در مطالعات سیاست‌گذاری و تخصیص منابع، کاربرد دارد و در تعیین ترکیب بهینه کشت در زمین‌های کشاورزی بسیار مؤثر بوده است. شاخص EWP توجه را نه صرفاً حجم محصول، بلکه به سمت سودآوری مصرف آب سوق می‌دهد (Farahza et al., 2020; Asadi et al., 2023). از دیگر شاخص‌های بهره‌وری، شاخص بهره‌وری اجتماعی^۳ آب است که به معنای سنجش میزان تأثیرگذاری مصرف آب بر رفاه و توسعه پایدار جامعه و نه فقط بازده اقتصادی یا فیزیکی آن است (Ruddell & Rushforth, 2024).

در سطحی جامع‌تر، مفاهیمی مانند شاخص کل بهره‌وری آب^۴ یا شاخص بهره‌وری نهایی آب^۵ (MWP) در تحلیل‌های یکپارچه منابع در مناطق بحرانی مطرح شده‌اند. این شاخص‌ها امکان مقایسه بخش‌های مختلف مصرف (شرب، کشاورزی، صنعت) از نظر کارایی بهره‌برداری از منابع محدود آب را فراهم می‌سازند (Karandish & Hoekstra, 2017).

همچنین، مفهوم ردپای آب^۶ (WF) که نخستین بار توسط Hoekstra و همکاران (۲۰۱۲) توسعه یافت، مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب را در چرخه کامل تولید یک کالا یا خدمات در بر می‌گیرد. ردپای آب شامل سه مؤلفه آبی (آبی، سبز و خاکستری) است که به ترتیب مصرف آب آبی، بارش ذخیره‌شده در خاک، و میزان آبی که برای رقیق کردن آلاینده‌ها لازم است را بیان می‌کنند. این شاخص، در سطح ملی و بین‌المللی، ابزاری برای تحلیل پایداری تولید و مصرف و تجارت محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود (Mekonnen & Hoekstra, 2011). در مطالعه‌ای روی محصولات گندم، جو و ذرت در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، با محاسبه و مقایسه ردپای آب آبی و سبز، بر اهمیت مدیریت منابع آب تأکید شد (Ababaei & Etedali, 2017).

4. Total Water Productivity Index
5. Marginal WP
6. Water Footprint

1. Water Productivity
2. Economic Water Productivity
3. Social Water Productivity

ردپای آب، شاخص آب مجازی^۱ است که به میزان آبی اطلاق می‌شود که برای تولید یک کالا مصرف شده ولی در کالا حضور فیزیکی ندارد. اهمیت این مفهوم در سیاست‌گذاری واردات و صادرات کشاورزی و امنیت غذایی است. در ایران مطالعات بسیاری در دهه اخیر صورت گرفته که به در نظر گرفتن مقدار آب مجازی تولید کالاها برای مدیریت منابع آب تاکید دارند (Mardani et al., 2018; Hejabi & Yousefi, 2019; Qasempour et al., 2020).

شاخص بهره‌وری آب-انرژی^۲ (WEP) نیز از معیارهایی است که برای سنجش میزان تولید انرژی نسبت به مقدار آب مصرف یا از دست رفته در فرآیندهای مختلف (مانند تولید برق آبی یا آبیاری کشاورزی) به کار می‌رود. شاخص WEP به صورت مقدار انرژی تولید شده به ازای هر واحد آب مصرف یا از دست رفته تعریف می‌شود (به عنوان مثال گیگاوات-ساعت بر میلیارد مترمکعب آب)

(Basheer & Elagib, 2018; Zallaghi et al., 2020). این شاخص به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری برای مدیریت همزمان منابع آب و انرژی اتخاذ کنند و از هدررفت منابع جلوگیری نمایند (Basheer & Elagib, 2018; Norouzi, 2022).

مرور مطالعات در این بخش نشان می‌دهد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم منابع آب نقش کلیدی در تحلیل کارآمدی این منابع در تخصیص دارند. مطالعات زیادی از مناطق مختلف ایران با بهره‌گیری از این شاخص‌ها، نشان داده‌اند که صرف دسترسی به آب کافی، تضمین‌کننده معیشت پایدار نیست، بلکه افزایش بهره‌وری، تغییر الگوی کشت و سیاست‌گذاری مبتنی بر WFP، الزامی است. در جدول ۱، تعریف علمی، کاربرد و روش ارزیابی مهمترین شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم منابع آب ارائه شده است.

جدول ۱ - شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم منابع آب

Table 1- Indicators of Productivity and Indirect Consumption of Water Resources

عنوان شاخص	تعریف علمی	کاربرد	ابزار ارزیابی/محاسبه
ردپای آب	حجم کل آب مصرف‌شده مستقیم و غیرمستقیم در تولید یک کالا یا خدمت	ارزیابی تأثیر مصرف محصولات مختلف بر منابع آب	ابزار آنلاین WFAT، مدل WaterStat، داده‌های FAO و UN
آب مجازی	مقدار آبی که در فرآیند تولید یک کالا مصرف شده و همراه کالا به صورت پنهان بین مناطق مبادله می‌شود	تحلیل تجارت آب و وابستگی مناطق به منابع آب خارجی	ماتریس‌های تبادل کالا، مدل‌های اقتصاد کلان و ترازنامه محصولات
بهره‌وری فیزیکی آب	نسبت تولید محصول فیزیکی (kg, ton)، به واحد آب مصرفی (m ³)	سنجش کارایی مصرف آب در کشاورزی	داده‌های کشاورزی، معادلات تراز آبی، مدل‌های زراعی
بهره‌وری اقتصادی آب	ارزش اقتصادی تولید (ریال/دلار) به ازای حجم آب مصرفی	مقایسه اقتصادی کاربری‌های آب در حوزه آبخیز	داده‌های اقتصادی محصول، قیمت بازار، نرم افزار Excel/Matlab
بهره‌وری اجتماعی آب	میزان اشتغال یا رفاه اجتماعی حاصل از هر واحد مصرف آب	تحلیل ارتباط بین آب و توسعه اجتماعی	داده‌های آماری اشتغال، مدل‌های نهادی
بهره‌وری چندمنظوره آب	مقدار کل تولید (اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی) از هر مترمکعب آب مصرفی	ارزیابی جامع کارایی منابع آبی در کاربری‌های چندمنظوره	چارچوب FAO، مدل AquaCrop
بهره‌وری آب-انرژی	نسبت انرژی تولید شده یا صرفه‌جویی شده به میزان آب مصرفی	تحلیل پیوند آب و انرژی	داده‌های انرژی، مدل‌های هیدروالکتریک یا کشاورزی مدرن

۴- مطالعات مبتنی بر شاخص‌های نهادی- اجتماعی

ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز تنها به ابعاد کمی و کیفی یا بهره‌وری محدود نمی‌شود، بلکه نهادها، رفتار اجتماعی، و ظرفیت حکمرانی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در تحقق این کفایت -به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که فشار بر منابع و تعارضات بهره‌برداری بالا است- ایفا می‌کنند. از این‌رو، در سال‌های اخیر، مجموعه‌ای از شاخص‌های نهادی- اجتماعی برای تکمیل تحلیل فنی و اقتصادی در چارچوب‌های ارزیابی کفایت منابع توسعه یافته‌اند.

یکی از شاخص‌های کلیدی در این زمینه، شاخص حکمرانی آب^۱ است که کیفیت نهادهای مرتبط با تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری، مشارکت، شفافیت، و اجرای قوانین را در مدیریت منابع آب ارزیابی می‌کند (OECD, 2015). مطالعات متعددی از جمله توسط Varis و Rahaman (۲۰۰۶) و Savenije و Vander (۲۰۰۵) نشان داده‌اند که ضعف در حکمرانی، یکی از موانع اصلی تحقق کفایت منابع آب در مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود.

دومین شاخص مهم در این حوزه، شاخص مشارکت ذی‌نفعان^۲ است که به میزان دخالت فعالانه بهره‌برداران محلی، سازمان‌های مدنی و نهادهای محلی در فرآیند تصمیم‌گیری منابع آب توجه دارد. مشارکت مؤثر نه تنها مشروعیت سیاست‌ها را افزایش می‌دهد بلکه احتمال موفقیت در اجرای طرح‌های مدیریت منابع را بالا می‌برد (Pahl-Wostl et al., 2007). در ایران نیز Ghorbani و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه و تأکید بر پیوندهای اعتماد و مشارکت و شاخص‌های کمی در سطح شبکه ذی‌نفعان محلی، نشان دادند که تقویت اعتماد و مشارکت اجتماعی در منطقه مورد مطالعه برای افزایش

سرعت گردش اطلاعات و منابع و همچنین افزایش اتحاد در بین ذی‌نفعان الزامی است تا از این طریق بتوان زمان اجرای مدیریت مشارکتی منابع آب را کاهش داده و به موفقیت دست یافت.

شاخص سوم، شاخص ظرفیت نهادی^۳ است که ساختارها، منابع انسانی، قوانین و توانمندی‌های سازمان‌های محلی و دولتی را در مدیریت بهینه منابع آب می‌سنجد. ظرفیت نهادی پایین در بسیاری از مناطق خشک کشور به کاهش کارایی تخصیص و کنترل بهره‌برداری منجر شده است (Madani et al., 2016).

چهارمین شاخص، شاخص عدالت اجتماعی آب^۴ است که به تحلیل میزان برابری در دسترسی به منابع آب بین گروه‌های مختلف اجتماعی (برحسب درآمد، جنسیت، مکان جغرافیایی) می‌پردازد (Mehta et al., 2019). شاخص‌های عدالت آب معمولاً شامل ترکیبی از شاخص‌های ساختاری، فرایندی و پیامدی هستند. این شاخص‌ها نرخ تغییرات را نسبت به نرخ‌های معیار مقایسه می‌کنند تا پیشرفت یا پسرفت عدالت را بسنجند و امکان مقایسه بین کشورها و در طول زمان را فراهم می‌کنند (Luh et al., 2013). مرور منابع داخلی نشان داد بررسی این شاخص در مدیریت منابع آب کمتر مورد توجه واقع شده است.

در برخی چارچوب‌ها، شاخص اعتماد نهادی^۵ نیز به‌عنوان مکمل در تحلیل اجتماعی مطرح است. اعتماد متقابل بین بهره‌برداران و نهادهای مدیریت آب نقش مهمی در پذیرش سیاست‌های محدودکننده مصرف یا تخصیص مجدد منابع ایفا می‌کند.

در مجموع، استفاده از این شاخص‌ها در کنار شاخص‌های کمی، کیفی و بهره‌وری، امکان تحلیل چندبعدی کفایت منابع آب را فراهم می‌سازد. به‌ویژه در مناطق خشک که اغلب با چالش‌های ساختاری در نهادهای محلی، ضعف حکمرانی، و تعارضات اجتماعی

4. Water Equity Index

5. Institutional Trust Index

1. Water Governance Index

2. Stakeholder Participation Index

3. Institutional Capacity Index

مواجه هستند، ارزیابی نهادی- اجتماعی می‌تواند نقشی کلیدی در سیاست‌گذاری موفق منابع ایفا کند.

۵- مطالعات مبتنی بر شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری

در حوزه ارزیابی کفایت منابع آب، عدم قطعیت‌های اقلیمی، تغییرات بلندمدت هیدرولوژیکی، و فشارهای انسانی فزاینده ایجاب می‌کند که صرفاً به ارزیابی وضعیت فعلی منابع بسنده نشود، بلکه توان حوزه آبخیز در مواجهه با مخاطرات و بازگشت‌پذیری آن نیز مورد توجه قرار گیرد. در این چارچوب، شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری به عنوان ابزارهایی مکمل برای تحلیل پویایی‌های سیستم منابع آب مطرح شده‌اند، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که نوسانات بارندگی، خشکسالی‌های شدید و بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی از ویژگی‌های ساختاری آن‌ها است (Vorosmarty et al., 2000). از شاخص‌های رایج در این حوزه، شاخص ریسک کم‌آبی^۱، است که به عنوان ابزاری برای سنجش و مدیریت خطرات ناشی از کمبود آب در مناطق مختلف مطرح است. این شاخص با ترکیب عوامل محیطی، اقتصادی و اجتماعی، به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا نقاط آسیب‌پذیر را شناسایی و برای مقابله با بحران کم‌آبی برنامه‌ریزی کنند. این شاخص میزان زیان اقتصادی ناشی از کمبود آب را اندازه‌گیری می‌کند و شامل دو بخش است: ریسک کم‌آبی^۲ محلی (LWSR) که به زیان اقتصادی در محل اشاره دارد، و ریسک کم‌آبی^۳ مجازی (VWSR) که انتقال این ریسک از طریق تجارت را در نظر می‌گیرد (Chen et al., 2022).

در ارتباط با بعد اجتماعی-اقتصادی، شاخص آسیب‌پذیری آب^۴ توسعه یافته که از سه مؤلفه اصلی

آسیب‌پذیری فیزیکی، اقتصادی و نهادی تشکیل می‌شود. این شاخص می‌تواند مشخص کند که چه مناطقی و چه گروه‌هایی از جامعه، بیشتر در معرض تأثیر خشکسالی یا بحران‌های آبی هستند، و این ارزیابی می‌تواند در برنامه‌ریزی برای تخصیص منابع و مداخلات حمایتی استفاده شود. شاخص آسیب‌پذیری آب معمولاً بر اساس سه مؤلفه اصلی ساخته می‌شود: میزان مواجهه^۵، حساسیت^۶ و ظرفیت تطبیق^۷ (Mansir et al., 2021).

در مطالعات، توجه فزاینده‌ای به شاخص‌های تاب‌آوری منابع آب^۸ نیز شده است. تاب‌آوری در این حوزه به توان یک سیستم برای جذب، سازگاری و بازیابی از اختلالات هیدرولوژیکی یا انسانی اطلاق می‌شود (Walker et al., 2004). شاخص‌هایی نظیر تنوع منابع تأمین، انعطاف‌پذیری در تخصیص، و ظرفیت ذخیره‌سازی از جمله مؤلفه‌های تاب‌آوری هستند. روش‌های محاسبه شاخص تاب‌آوری منابع آب عمده‌تاً مبتنی بر مدل‌های چندمعیاره، شاخص‌های کمی و کیفی، و تحلیل‌های آماری هستند. انتخاب روش به هدف، نوع سیستم و داده‌های موجود بستگی دارد (Behboudian & Kerachian, 2021; Xu et al., 2022). در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مانند دشت مشهد، اصفهان، این شاخص‌ها به‌ویژه در تعیین وضعیت منابع آب مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Dogani et al., 2020; Yaraghi & Fard & Shokoohi, 2023).

همچنین، شاخص‌های تاب‌آوری نهادی^۹ نظیر توانایی سیستم حکمرانی در یادگیری، تطبیق سیاست‌ها، و پاسخ به بحران‌های آب نیز به‌طور فزاینده‌ای در ارزیابی‌های بین‌المللی مورد توجه هستند (Folke et al., 2010). این شاخص‌ها در چارچوب ارزیابی‌های

6. Sensitivity

7. Adaptive Capacity

8. Water Resilience Indicators

9. Institutional Resilience Index

1. Water Scarcity Risk Index

2. Local Water Scarcity Risk

3. Virtual Water Scarcity Risk

4. Water Vulnerability Index

5. Exposure

میان‌رشته‌ای، مکمل تحلیل‌های فیزیکی و اجتماعی محسوب می‌شوند.

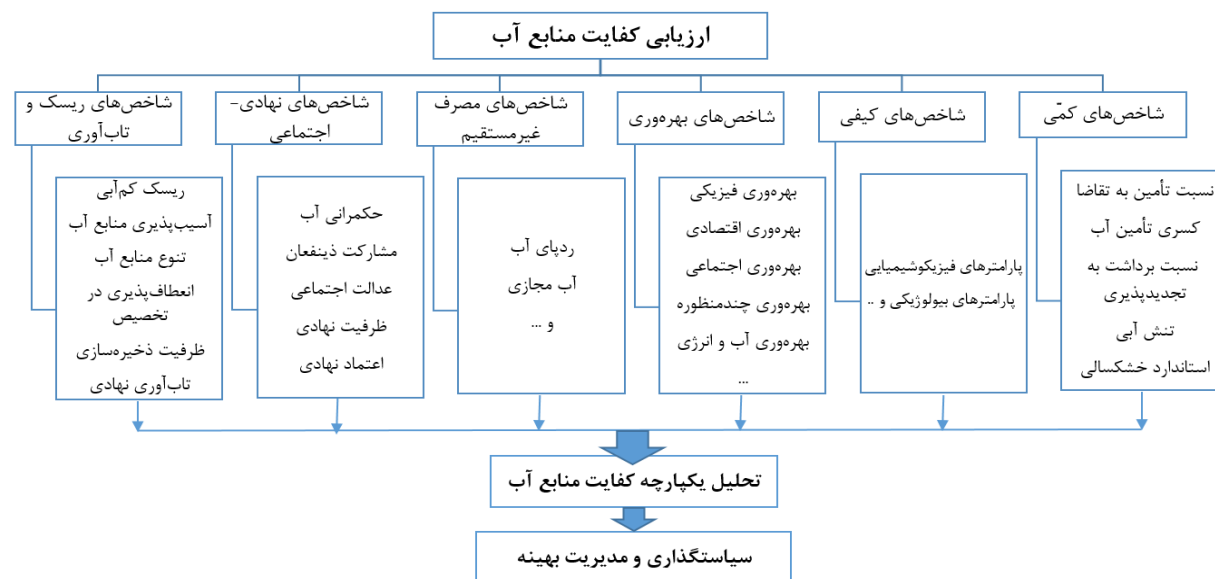
در برخی مطالعات، از چارچوب‌های ترکیبی مانند شاخص تاب‌آوری-ریسک^۱ نیز استفاده شده است که با استفاده از مدل‌سازی دینامیک سیستم‌ها، تعامل بین شوک‌ها و پاسخ‌های سیستمی را تحلیل می‌کند. به عنوان جمع‌بندی، شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری به‌عنوان مکمل ضروری در کنار شاخص‌های کمی،

کیفی و نهادی-اجتماعی، درک جامع‌تری از کفایت منابع آب در شرایط پرفشار مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه می‌دهند. بهره‌گیری از آن‌ها در سیاست‌گذاری، می‌تواند منجر به افزایش توان انطباق‌پذیری جوامع و کاهش احتمال بحران‌های آبی آینده گردد. در جدول ۲ و شکل ۱ مرور ساختاریافته شاخص‌ها و ابزارهای ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز، با تأکید بر مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارائه شده است.

جدول ۲- مهمترین شاخص‌ها و ابزارهای ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک

Table 2- The most important indicators and tools for evaluating water resource adequacy in arid and semi-arid watersheds

منابع	کاربرد کلیدی در مناطق خشک و نیمه‌خشک	نمونه شاخص‌ها / ابزارها	دسته‌بندی
FAO (2012)	تشخیص کسری منابع و اولویت‌بندی مدیریت منابع سطحی/زیرزمینی	نسبت تأمین به تقاضا، کسری تأمین آب، نسبت برداشت به تجدیدپذیری	شاخص‌های کمی
UNEP (2016)	ارزیابی کیفیت منابع در شرایط کم‌آبی و تمرکز آلاینده‌ها	شاخص کیفیت آب، شاخص نیترات، شاخص آلودگی چندگانه	شاخص‌های کیفی
Hoekstra et al. (2012); Molden et al. (2013)	تحلیل مصرف غیرمستقیم و پایداری اقتصادی-زیست‌محیطی تولیدات کشاورزی	ردپای آب، بهره‌وری فیزیکی/اقتصادی آب، بهره‌وری آب-انرژی	شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم آب
OECD (2015); Pahl-Wostl (2007)	تحلیل ظرفیت اجتماعی و نهادی برای سازگاری با تنش‌های آبی	شاخص حکمرانی آب، شاخص مشارکت، شاخص نهادهای محلی	شاخص‌های نهادی-اجتماعی
Folke et al. (2010);	برآورد آسیب‌پذیری و توان بازگشت سیستم به شرایط پایدار	شاخص تاب‌آوری منابع آب، شاخص آسیب‌پذیری، ریسک کم‌آبی، تاب‌آوری نهادی	شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری



شکل ۱- چهارچوب مفهومی ارزیابی کفایت منابع آب

Figure 1- Conceptual framework for evaluating water resource adequacy

۶- مطالعات مبتنی بر مدل‌های ارزیابی

با توجه به پیچیدگی فزاینده روابط بین منابع آب، نیازهای متنوع بهره‌برداران، نوسانات اقلیمی و محدودیت‌های محیطی، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری به یکی از ارکان اساسی ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز تبدیل شده است. این مدل‌ها به مدیران منابع آب و سیاست‌گذاران امکان می‌دهند تا ضمن بررسی وضعیت موجود، آثار اقدامات مدیریتی و سناریوهای آتی را نیز تحلیل کنند. در این بخش، مدل‌هایی که بیشترین کاربرد و اعتبار علمی را در این حوزه داشته‌اند معرفی می‌شوند.

(a) مدل WEAP^۱

مدل WEAP یکی از جامع‌ترین ابزارهای برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب است که توسط موسسه SEI^۲ توسعه یافته و در کشورهای مختلف، از جمله ایران، مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل قادر است منابع و مصارف آب، نیازهای محیط‌زیستی، سناریوهای تغییر اقلیم و گزینه‌های مدیریتی را به صورت یکپارچه شبیه‌سازی کند. ساختار ساده، قابلیت اتصال به GIS و امکان تعریف سیاست‌های مختلف تخصیص، از جمله مزایای این مدل هستند (Yates et al., 2005; SEI, 2015). در ایران، این مدل در مناطق کم آبی همچون حوزه دشت قزوین، هیرمند، بلوچستان، بجنورد برای تحلیل سناریوهای تخصیص آب مورد استفاده قرار گرفته است (Ramroodi et al., 2015; Hekmatnia et al., 2022; Ahmadi, 2022).

(b) مدل SWAT^۳

مدل SWAT یکی از معتبرترین مدل‌های فرآیندمحور برای شبیه‌سازی بلندمدت رفتار منابع آب در مقیاس حوزه آبخیز است. این مدل با رویکرد نیمه‌توزیعی، امکان بررسی تولید رواناب، رسوب، آلودگی غیرنقطه‌ای

و اثرات تغییر کاربری زمین بر منابع آب را فراهم می‌سازد (Arnold et al., 2012). در مطالعات متعدد در حوزه‌های آبخیز کشور، از جمله حوزه آبریز زاینده‌رود، لار، دامغانرود، رودخانه سرباز و حوضه‌های فاقد آمار مناطق خشک و نیمه‌خشک برای شبیه‌سازی میزان رواناب تحت سناریوهای مختلف به کار گرفته شده است (Amini et al., 2018; Sayad et al., 2020; Hamed et al., 2022; Khosravi et al., 2022; Kiyani Majd et al., 2023).

(c) مدل MODSIM

مدل MODSIM ابزاری برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در شبکه‌های پیچیده رودخانه‌ای است که با استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی به تعیین الگوی بهینه تخصیص آب بین مصارف مختلف می‌پردازد (Labadie, 2006). این مدل برای تحلیل وضعیت کفایت منابع آب تحت شرایط محدودیت کمی و تقاضای رقابتی در بین مصرف‌کنندگان مختلف کاربرد دارد. این مدل قابلیت اتصال به مدل‌های بهینه‌سازی همچون PSO^۴ و مدل‌های هیدرولوژیکی همچون SWAT را دارد (Ebrahimi & Shourian, 2022; Aliyari و همکاران ۲۰۱۹). از این مدل برای مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که شامل مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی بود، استفاده نمودند. همچنین مدل MODSIM در ایران برای مدل‌سازی، برنامه‌ریزی و یا ارزیابی طرح‌های توسعه منابع آب استفاده گردیده است (Mohseni Zadeh & Shourian, 2018).

(d) مدل MIKE SHE

مدل MIKE SHE یک مدل هیدرولوژیکی توزیعی و فیزیکی‌مبناست که قادر به شبیه‌سازی همزمان جریان سطحی، زیرسطحی، تبخیر-تعرق، نفوذ، زهکشی و تبادل آب زیرزمینی، انتقال آلودگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی در اراضی شهری و غیرشهری، ارزیابی اثرات

تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی و سناریوهای مدیریتی منابع آب، تحلیل سیستم‌های آبیاری، زهکشی و مدیریت آب در اراضی کشاورزی و... است و محدوده مقیاس مکانی مورد کاربرد آن از زیرحوضه‌های کوچک (کمتر از یک کیلومتر مربع) تا حوضه‌های بزرگ (هزاران کیلومتر مربع) می‌باشد (Jaber & Shukla, 2012; Prucha et al., 2016; Wang et al., 2024). همچنین مدل MIKE SHE به طور گسترده‌ای قابلیت اتصال و یکپارچه‌سازی با مدل‌های هیدرولیکی، کیفیت آب، ابزارهای کالیبراسیون و مدل‌های تصمیم‌یار را دارد (Prucha et al., 2016). در ایران Sodori و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از این مدل جریان سطحی و زیرزمینی در حوزه آبریز فومنات را شبیه‌سازی نمودند.

(e) مدل RIBASIM^۱

مدل RIBASIM، توسط موسسه Deltares هلند برای شبیه‌سازی یکپارچه منابع و مصارف آب در حوضه‌های رودخانه‌ای در سال ۲۰۱۴ ارائه و در سال ۲۰۲۳ توسعه یافته است. این مدل با استفاده از ساختار گراف‌محور، امکان تحلیل تعاملات پیچیده بین منابع سطحی، زیرزمینی، شبکه‌های انتقال و مخازن را فراهم می‌کند. RIBASIM برای ارزیابی سناریوهای تخصیص آب، تحلیل کمبود، و طراحی سیاست‌های بهره‌برداری در شرایط خشک‌سالی مناسب است. در ایران Ahmadzadeh و همکاران (۲۰۲۲) از این مدل به عنوان مدل تکمیلی در ارزیابی قابلیت اعتماد تأمین تقاضای آب با توجه به تغییرات اقلیمی و پروژه‌های آبی اجرایی، برای تخصیص منابع آب بر اساس عرضه و تقاضا بهره بردند.

(f) مدل HEC-HMS^۲

مدل HEC-HMS، توسعه‌یافته توسط مهندسان ارتش آمریکا، برای شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز نسبت به بارش کاربرد دارد. این مدل با تمرکز بر فرآیندهای بارش-رواناب، ابزاری مناسب برای تحلیل

سیلاب، رواناب سطحی و زمان‌بندی تأمین منابع آب به شمار می‌رود (Feldman, 2000). در ایران Zare و همکاران (۲۰۲۱) و Majidi و Shahedi (۲۰۱۲) برای شبیه‌سازی رواناب در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک، از این مدل استفاده نمودند.

در مجموع، کاربرد مدل‌های فوق به درک جامع‌تری از کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز می‌انجامد و به‌ویژه در مواجهه با چالش‌های مرتبط با تغییر اقلیم، افزایش تقاضا، و تعارضات بین بهره‌برداران، ابزاری علمی و راهبردی در اختیار مدیران قرار می‌دهد. ترکیب این مدل‌ها با شاخص‌های کمی و کیفی و تلفیق آن‌ها در چارچوب‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، می‌تواند به ارتقاء عدالت و بهره‌وری در مدیریت منابع آب کمک شایانی کند (Madani, 2010).

چالش‌ها و محدودیت‌ها در ارزیابی کفایت منابع آب حوزه‌های آبخیز برای آبخیزنشینان

ارزیابی کفایت منابع آب در مقیاس حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه برای رفع نیازهای متنوع آبخیزنشینان، با چالش‌های متعددی در سطوح مفهومی، داده‌ای، نهادی و تکنیکی همراه است. این چالش‌ها نه تنها دقت و جامعیت نتایج ارزیابی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بلکه بر تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز تأثیرگذارند. در ادامه چالش‌ها و محدودیت‌های کاربرد شاخص‌ها و مدل‌های ذکر شده به تفکیک بررسی شده‌اند.

(a) شاخص‌های کمی

مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل بارندگی کم، تبخیر بالا و نوسانات شدید اقلیمی، دارای تغییرات زمانی و مکانی قابل توجهی در منابع آب هستند که باعث می‌شود شاخص‌های کمی معمولاً نتوانند به خوبی این پیچیدگی‌ها را منعکس کنند (Yan et al., 2024). بسیاری از چارچوب‌ها و شاخص‌های ارزیابی موجود، ویژگی‌های خاص مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند

کارائی لازم را نداشته باشند؛ بنابراین نیاز به توسعه یا بومی‌سازی شاخص‌های ویژه این مناطق وجود دارد (Panahi et al., 2021; Jalali et al., 2024).

(c) شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم آب از مهم‌ترین چالش‌های کاربرد شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم آب برای ارزیابی کفایت منابع آب این است که شاخص‌هایی مانند بهره‌وری اقتصادی آب (مانند ارزش افزوده به ازای هر واحد آب) لزوماً بازتاب‌دهنده بهبود واقعی کارایی مصرف آب نیستند و بیشتر تحت تأثیر رشد اقتصادی و سرمایه‌بری^۱ قرار می‌گیرند تا کاهش فشار واقعی بر منابع آب، که می‌تواند به سیاست‌گذاری‌های نادرست منجر شود (Ozcelik et al., 2024). به عنوان مثال، نصب سیستم‌های آبیاری گران‌قیمت که بازده اقتصادی را بالا می‌برند یا صنایع فناوری‌محور که باعث افزایش ارزش افزوده می‌شوند، به معنای کاهش مصرف آب نیستند. همچنین، شاخص‌های مصرف غیرمستقیم آب (مانند ردپای آب یا آب مجازی) به دلیل پیچیدگی زنجیره تأمین و دشواری در جمع‌آوری داده‌های دقیق، ممکن است برآوردهای دقیقی از مصرف واقعی آب ارائه ندهند و درک صحیحی از فشار بر منابع آب محلی ایجاد نکنند (Marston et al., 2020; Amini et al., 2024). علاوه بر این، این شاخص‌ها اغلب به تفاوت‌های مکانی، اقلیمی و ساختار کشت توجه کافی ندارند و ممکن است برای مناطق مختلف حوزه آبخیز نتایج متفاوت و حتی متناقضی ارائه دهند (Sadeghi et al., 2020; Yan et al., 2020). تغییرات اقلیمی و نوسانات بارش و تبخیر نیز حساسیت بالایی در نتایج این شاخص‌ها ایجاد می‌کند و ارزیابی پایداری منابع آب را دشوار می‌سازد (Cao et al., 2021). همچنین عدم توجه به ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی بهره‌برداری از آب، می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های ناکارآمد برای آبخیزنشینان شود (Da Cunha E Silva et al., 2022). بنابراین، استفاده از این شاخص‌ها باید با

نبود منابع آب دائمی، وابستگی شدید به بارش‌های فصلی و تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی را به‌درستی لحاظ نمی‌کنند و نیاز به توسعه شاخص‌های بومی و متناسب با شرایط محلی احساس می‌شود (Alsaeed et al., 2024).

(b) شاخص‌های کیفی

یکی از مهم‌ترین چالش‌های کاربرد شاخص‌های کیفی آب برای ارزیابی منابع آب در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، تنوع و پیچیدگی پارامترهای کیفی آب است که به دلیل شوری بالا، قلیائیت و حضور یون‌های خاص مانند سدیم و کلراید، ارزیابی را دشوار می‌کند به طوریکه بسیاری از شاخص‌های استاندارد ممکن است برای این مناطق مناسب نبوده یا نیاز به تعدیل داشته باشند (Pandey et al., 2023; Jalali et al., 2024). همچنین، استفاده از شاخص‌های کیفی با حدود مجاز بسیار سخت‌گیرانه می‌تواند منجر به کاهش منابع قابل استفاده و افزایش هزینه‌های پایش شود (Bortolini et al., 2018). تغییرات فصلی و مکانی کیفیت آب، به ویژه در اثر بارش‌های محدود و تبخیر بالا، باعث می‌شود نتایج شاخص‌ها در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت باشد و نیاز به پایش مستمر و داده‌های کافی وجود داشته باشد (Singhal et al., 2020; Wang & Wang, 2023). علاوه بر این، تأثیر شدید فعالیت‌های انسانی مانند مصرف بیش از حد کود و آلودگی صنعتی، باعث می‌شود شاخص‌های کیفی آب به تنهایی نتوانند تصویر کاملی از وضعیت منابع آب ارائه دهند و باید با تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی و مدل‌های پیش‌بینی ترکیب شوند (Panahi et al., 2021; Pandey et al., 2023; Ghosh, 2024). محدودیت دیگر، هزینه و دشواری جمع‌آوری داده‌های کافی و دقیق در مناطق وسیع و با دسترسی محدود است (Singhal et al., 2020). در نهایت، بسیاری از شاخص‌ها برای آب‌های سطحی طراحی شده‌اند و ممکن است برای آب‌های زیرزمینی در این اقلیم‌ها

احتیاط و همراه با سایر ابزارهای مدیریتی و داده‌های محلی انجام گیرد تا ارزیابی واقع‌بینانه‌تری از کفایت منابع آب برای ساکنان حوزه آبخیز حاصل شود (Marston et al., 2020; Amini et al., 2024; Ozcelik et al., 2024).

(d) شاخص‌های نهادی-اجتماعی

نبود اجماع بر سر شاخص‌های مناسب و نحوه سنجش آن‌ها از مهم‌ترین چالش‌های کاربرد شاخص‌های نهادی-اجتماعی برای ارزیابی کفایت منابع آب حوزه‌های آبخیز است. برخلاف شاخص‌های فنی و اقتصادی، شاخص‌های اجتماعی و نهادی اغلب به‌درستی تعریف نشده‌اند و اعتبار و قابلیت اطمینان آن‌ها محل تردید است (Polonenko et al., 2019). همچنین، این شاخص‌ها به‌شدت به زمینه‌های محلی، فرهنگی و ساختارهای حکمرانی وابسته‌اند و تعمیم‌پذیری محدودی دارند (Polonenko et al., 2021; Mirchooli et al., 2019). جمع‌آوری داده‌های اجتماعی و نهادی معمولاً دشوار و پرهزینه است و ممکن است داده‌ها ناقص یا غیرقابل اتکاء باشند (Mirchooli et al., 2021). علاوه بر این، شاخص‌های اجتماعی و نهادی اغلب به‌صورت کیفی تعریف می‌شوند و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی برای مقایسه و تصمیم‌گیری چالش‌برانگیز است. پیچیدگی روابط میان عوامل اجتماعی، نهادی و منابع آب باعث می‌شود تفسیر نتایج دشوار باشد و سیاست‌گذاری مبتنی بر این شاخص‌ها نیازمند رویکردهای چندبعدی و مشارکتی است (Polonenko et al., 2019; Mirchooli et al., 2021). در نهایت، نبود چارچوب‌های یکپارچه و ضعف در پیوند شاخص‌های اجتماعی-نهادی با شاخص‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، کارایی این ابزارها را در مدیریت جامع منابع آب محدود می‌کند.

(e) شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری

کاربرد شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری برای ارزیابی و مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش‌های متعددی روبرو است. نخست، این مناطق به دلیل تغییرات شدید اقلیمی و پراکندگی مکانی بارش،

با نوسانات زیاد در منابع آب مواجه‌اند که باعث می‌شود شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری نیازمند داده‌های دقیق و محلی باشند تا بتوانند تفاوت‌های مکانی و زمانی را به‌درستی منعکس کنند (Xia et al., 2017). دوم، شاخص‌های متداول اغلب به‌خوبی نمی‌توانند تعامل پیچیده بین خشکسالی‌های هواشناسی و هیدروژئولوژیکی (مانند انتقال خشکسالی از بارش به آب زیرزمینی) را نشان دهند و نیاز به شاخص‌های ترکیبی و تحلیل‌های چندمتغیره دارند (Meimandi et al., 2024). سوم، حافظه آبی (مدت زمان تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی از خشکسالی) در چاه‌ها و آبخوان‌ها بسیار متغیر است و این ناهمگونی، ارزیابی تاب‌آوری را دشوار می‌کند (Neves, 2024). چهارم، شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری باید بتوانند اثرات فعالیت‌های انسانی مانند برداشت بیش از حد آب و تغییر کاربری اراضی را نیز لحاظ کنند، در حالی که اغلب مدل‌ها بیشتر بر عوامل طبیعی تمرکز دارند (Lankford et al., 2022; Bonetti et al., 2022). همچنین، نبود داده‌های کافی و قابل اعتماد، ضعف در یکپارچه‌سازی شاخص‌ها با سیاست‌گذاری و مدیریت مشارکتی، و عدم توجه به ابعاد اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی از دیگر چالش‌های مهم هستند (Núñez-López et al., 2021). در نهایت، برای افزایش کارایی این شاخص‌ها، باید آن‌ها را با ابزارهای پیش‌بینی اقلیمی، سناریوهای آینده‌نگر و راهکارهای سازگار با شرایط محلی ترکیب کرد تا بتوان تصمیمات مدیریتی مؤثرتری اتخاذ نمود (Xia et al., 2017; Núñez-López et al., 2021).

(f) مدل‌ها

کمبود داده‌های دقیق و کافی برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها، از جمله چالش‌های کاربرد مدل‌های ارزیابی منابع آب در حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که دلیل آن پراکندگی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و در مواردی محدودیت منابع مالی و فنی رایج است (Hanson et al., 2022). پیچیدگی رفتار هیدروژئولوژیکی در این مناطق، مانند تغییرات شدید زمانی و مکانی بارش و

نیازمند تخصص فنی و منابع انسانی ماهر است (Hanson et al., 2022). در نهایت، عدم تطابق بین مقیاس کاربری مدل‌سازی و نیازهای واقعی آبخیزنشینان، و همچنین نادیده گرفتن ابعاد اجتماعی-اقتصادی و مشارکت جوامع محلی در بسیاری از مدل‌ها، می‌تواند کارایی آن‌ها را برای مدیریت پایدار منابع آب کاهش دهد (Hanson et al., 2022; Felegari et al., 2024). در جدول ۳، چالش‌ها و محدودیت‌های کاربرد شاخص‌ها، مدل‌ها و چارچوب‌های ارزیابی کفایت منابع آب به طور خلاصه ارائه شده است.

تبخیر، باعث می‌شود مدل‌ها به پارامترهای حساس و تنظیمات دقیق نیاز داشته باشند و عدم قطعیت نتایج افزایش یابد (Nasiri et al., 2020). همچنین، بسیاری از مدل‌ها برای مناطق مرطوب یا کشاورزی توسعه یافته‌اند و ممکن است فرآیندهای خاص مناطق خشک، مانند نفوذپذیری پایین خاک یا تبخیر زیاد، را به خوبی شبیه‌سازی نکنند (Lyra et al., 2021). نیاز به داده‌های ورودی متنوع (مانند کاربری اراضی، پوشش گیاهی و داده‌های هواشناسی) و دشواری جمع‌آوری آن‌ها، محدودیت دیگری است (Lyra et al., 2021; Felegari et al., 2024). علاوه بر این، استفاده از مدل‌های پیچیده

جدول ۳ - چالش‌ها و محدودیت‌های کاربرد روش‌های ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک
Table 3- Challenges and limitations of water resources adequacy evaluation methods in arid and semi-arid watersheds

عنوان چالش	شرح مختصر	منابع منتخب
کمبود و پراکندگی داده‌ها	نبود داده‌های هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی با دقت زمانی و مکانی کافی	Merz et al., 2014; UNESCO, 2021
ناهمخوانی یا ناکارآمدی شاخص‌ها	عدم تناسب برخی شاخص‌ها با شرایط بومی و اقلیمی مناطق خشک	Loucks & van Beek, 2017; Falkenmark, 1989
ضعف در مدل‌سازی تلفیقی	محدودیت در مدل‌هایی که توان ترکیب شاخص‌های کمی، کیفی، نهادی و بهره‌وری را داشته باشند	He & James, 2021; He et al., 2023
نبود مشارکت محلی در ارزیابی	مشارکت ناکافی آبخیزنشینان در تدوین شاخص‌ها و تصمیم‌گیری‌ها	Pahl-Wostl et al., 2007; Armitage et al., 2012
ضعف ساختار حکمرانی و نهادی	نبود نهادهای هماهنگ‌کننده مؤثر، تعدد متولیان، ضعف قوانین مشارکتی	Mirchi et al., 2012; Yadegari et al., 2018
تأثیرات تغییر اقلیم	تغییر در الگوهای بارش، افزایش خشکسالی و نوسانات منابع آب سطحی و زیرزمینی	Parmesan et al., 2022; Zarch et al., 2015

هستند، ترکیب صحیح شاخص‌های مختلف (کمی، کیفی، بهره‌وری، نهادی-اجتماعی، ریسک و تاب‌آوری) با مدل‌های شبیه‌سازی، بهینه‌سازی، یا تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند تصویری جامع‌تر و کاربردی‌تر از کفایت منابع آب ارائه دهد. در ادامه رویکردهای ترکیبی رایج در چنین تحلیلی ارائه شده است.

رویکردهای ترکیبی در تحلیل چندبعدی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز

در ارزیابی کفایت منابع آب یک حوزه آبخیز برای پاسخ‌گویی به نیازهای جوامع محلی، استفاده از یک دسته مشخص از شاخص‌ها یا مدل‌ها به تنهایی نمی‌تواند تمامی ابعاد پیچیده اجتماعی-اکولوژیکی سیستم‌های منابع آب را در بر گیرد. به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت‌های شدید آبی، نوسانات اقلیمی و ساختارهای نهادی ضعیف مواجه

(a) ترکیب شاخص‌ها در قالب چارچوب‌های تحلیلی

بسیاری از مطالعات تلاش کرده‌اند تا با استفاده از چارچوب‌هایی نظیر ^۱DPSIR، ^۲WEF Nexus یا چارچوب پایداری^۳، شاخص‌های مختلف را به صورت یکپارچه تحلیل کنند (Pires et al., 2017; Kardan Moghadam & Roozbahani, 2022; Parizi et al., 2023). از مهمترین و جامع‌ترین این چارچوب‌ها، رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب^۴ (IWRM) است که به طور خاص برای ادغام این ابعاد و بهبود پایداری و کارایی مدیریت آب توسعه یافته است و شواهد جهانی نشان می‌دهد که اجرای IWRM با بهبود شاخص‌های پایداری محیط‌زیستی، بهره‌وری آب، بهداشت اکوسیستم‌ها و حتی کارایی اقتصادی و اجتماعی مرتبط است، هرچند میزان موفقیت آن به شرایط نهادی و حکمرانی بستگی دارد و در برخی شاخص‌ها مانند کیفیت آب یا استرس آبی، نتایج متغیر بوده است (Hering & Ingold, 2012; Bilalova et al., 2023; Li & Wu, 2023). تمرکز اصلی در این رویکرد بر مدیریت هماهنگ منابع آب، در نظر گرفتن نیازهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و بهینه‌سازی تخصیص آب در سطح حوضه است، اما به طور سنتی مصرف غیرمستقیم آب مانند آب مجازی یا رد پای آب به طور صریح در مدل‌های IWRM لحاظ نمی‌شود. به طور کلی، اگرچه IWRM ظرفیت و چارچوب لازم برای لحاظ کردن مصرف غیرمستقیم آب را دارد، اما در عمل و در اغلب مطالعات و پیاده‌سازی‌ها، این موضوع کمتر مورد توجه قرار گرفته است و نیازمند توسعه بیشتر مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی است (Wang et al., 2019; Bilalova et al., 2023).

(b) ترکیب شاخص‌ها با مدل‌های شبیه‌سازی

در بسیاری از مطالعات، شاخص‌های کفایت به عنوان متغیرهای هدف یا معیارهای ارزیابی عملکرد، درون مدل‌های شبیه‌سازی جریان آب، کیفیت آب یا بهره‌برداری از منابع گنجانده شده‌اند (Lyra et al., 2021; Li et al., 2024). ترکیب شاخص‌های متنوع با مدل‌های شبیه‌سازی باعث افزایش دقت و جامعیت ارزیابی می‌شود، اما به داده‌های فراوان و تخصص بالا نیاز دارد و ممکن است پیچیدگی و عدم قطعیت را افزایش دهد (Tekle et al., 2024).

(c) ترکیب شاخص‌ها با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

مطالعات متعددی به ترکیب شاخص‌های کمی، کیفی، نهادی-اجتماعی، بهره‌وری، ریسک و تاب‌آوری برای ارزیابی کفایت منابع آب و مدیریت حوزه‌های آبخیز با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۵ (MCDM) پرداخته‌اند. برای مثال، در پژوهشی Tavosi و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از مدل‌های MCDM مانند ^۶VIKOR، ^۷TOPSIS، ^۸SAW، ^۹COPRAS و ^{۱۰}ELECTRE، هشت شاخص اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی را برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز گرگانرود ایران به کار برده و نشان دادند که دانش بومی و معیشت‌های وابسته به آب نقش کلیدی در امنیت هیدرولوژیکی حوضه دارند. در مطالعه‌ای دیگر، Lima و همکاران (۲۰۲۱) شاخص‌های کیفیت و کمیت آب زیرزمینی، کاربری اراضی، عدالت و آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان را با ترجیحات ذینفعان محلی ترکیب و برای اولویت‌بندی مدیریت آب زیرزمینی در حوزه‌ها استفاده نمودند. همچنین، مدل‌های تصمیم‌گیری

7. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
8. Simple Additive Weighting
9. complex proportional assessment
10. Elimination Et Choix Traduisant la Realité

1. Driver-Pressure-State-Impact-Response
2. Water- Energy- Food Nexus
3. Sustainability Framework
4. Integrated Water Resources Management
5. Multi-Criteria Decision-Making
6. Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje (Best Criteria Optimization Compromise Solution)

چندمعیاره برای ارزیابی گزینه‌های مدیریتی با استفاده از شاخص‌های کمی و کیفی، بهره‌وری، و ابعاد اجتماعی-اقتصادی در حوزه‌های مختلف مانند حوضه گدیز ترکیه و حوزه‌های برزیل و کره جنوبی به کار رفته‌اند (Yılmaz & Harmancioglu, 2010; Kim & Chung, 2014; Silva et al., 2020).

ترکیب شاخص‌های متعدد با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب حوزه آبخیز، باعث افزایش دقت، جامعیت و کارایی تصمیم‌گیری می‌شود، اما چالش‌هایی مانند پیچیدگی، حساسیت به وزن‌دهی و عدم قطعیت داده‌ها را نیز به همراه دارد (Yılmaz & Harmancioglu, 2010).

(d) مدل‌های تلفیقی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی

در سال‌های اخیر، مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به طور گسترده برای ارزیابی و مدیریت منابع آب حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ترکیب شده‌اند. این رویکردها معمولاً با هدف تخصیص بهینه آب بین بخش‌های مختلف (مانند کشاورزی و نیروگاه‌های برق‌آبی) و با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی و محدودیت‌های منابع انجام می‌شوند. برای مثال، مدل SRIOP^۱ را می‌توان نام برد که توسط Jiang و همکاران (۲۰۲۱) با ترکیب مدل‌های اگروهیدرولوژیک و الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه، در تخصیص بهینه آب آبیاری در حوزه آبخیز هیهه^۲ چین و با در نظر داشتن تغییرات اقلیمی استفاده گردید. همچنین، Ashu و Lee (۲۰۲۱) برای مدیریت تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوزه‌های کشاورزی مدل‌های شبیه‌سازی-بهینه‌سازی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های فراابتکاری را به کار برده‌اند. در ایران نیز، ترکیب مدل WEAP با الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه برای برنامه‌ریزی بهینه منابع آب در حوزه‌هایی مانند رودخانه کشکان به کار رفته است

(Hatamkhani & Moridi, 2019). مطالعات دیگری نیز به بهینه‌سازی عملکرد سدها و مخازن با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و الگوریتم‌های هوشمند پرداخته‌اند (Saab et al., 2022; Vaz et al., 2024). شایان ذکر است بهینه‌سازی پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیک با الگوریتم‌هایی مانند PSO و بررسی عدم قطعیت ناشی از سطح تقسیم‌بندی حوزه و الگوریتم بهینه‌سازی، نقش مهمی در افزایش دقت شبیه‌سازی‌ها داشته است (Wang et al., 2024). چنین ترکیبی از مدل‌ها، ابزار قدرتمندی برای تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار منابع آب در حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه در مناطق با منابع محدود و شرایط اقلیمی متغیر، فراهم می‌کند. بنابر نتایج بررسی، می‌توان گفت در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر فلات مرکزی ایران، ترکیب عوامل اقلیمی، اکولوژیکی و نهادی، استفاده از رویکردهای تلفیقی را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است.

بحث

مرور ادبیات انجام‌شده نشان می‌دهد که ارزیابی کفایت منابع آب در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک، مستلزم به‌کارگیری طیف وسیعی از شاخص‌ها و مدل‌هاست که در شش دسته اصلی شاخص‌های کمی، شاخص‌های کیفی، شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم آب، شاخص‌های نهادی-اجتماعی و ریسک و تاب‌آوری قابل طبقه‌بندی هستند. از سوی دیگر، مدل‌های مورد استفاده برای ارزیابی نیز در قالب مدل‌های هیدرولوژیکی، تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، مدل‌های اقتصاد-آب، و شبیه‌سازی سناریوهای تغییرات اقلیم و کاربری زمین دسته‌بندی می‌شوند.

بررسی مطالعات نشان داد که نخست معیارهای کمی از مهم‌ترین ابزارهای سنجش کفایت منابع آب در حوزه‌ها هستند. در مطالعات جامع‌تر، شاخص‌های

Xiang et al., 2021; Bilalova et al., 2023; Li &)
(Wu, 2023; Ahmed et al., 2024

نتیجه‌گیری کلی

این بررسی نشان داد شاخص‌های کمی، کیفی و شاخص‌های بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم آب، هر یک نقش مهمی در تحلیل کفایت منابع ایفا می‌کنند و انتخاب شاخص‌های مناسب باید با توجه به شرایط اقلیمی، اجتماعی و زیست‌محیطی مناطق هدف صورت گیرد. همچنین، مدل‌های تصمیم‌گیری و شبیه‌سازی موجود، ابزارهای قدرتمندی برای پیش‌بینی و مدیریت منابع آب فراهم می‌آورند.

در نهایت، برای ارتقاء کارایی ارزیابی‌ها، به داده‌های میدانی به‌روز، چارچوب‌های مفهومی منسجم متناسب با منطقه مورد مطالعه با کاربرد صحیح شاخص‌های چندجانبه کمی، کیفی، بهره‌وری و مصرف غیرمستقیم آب، ریسک و تاب‌آوری و شاخص‌های نهادی اجتماعی همراه با همکاری بین‌بخشی، نیاز است. همچنین پژوهش‌های آینده باید به سمت توسعه شاخص‌های پویا و مدل‌های یکپارچه بر اساس داده‌های واقعی حرکت کنند تا بتوانند پاسخگوی نیازهای متغیر آبخیزنشینان در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشند و به امنیت آبی پایدار کمک کنند.

کیفی به‌ویژه برای مطالعات مرتبط با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند. از سویی، شاخص‌های بهره‌وری مانند ردپای آب، آب مجازی، و بهره‌وری اقتصادی- زیست‌محیطی، امکان تحلیل پیوند آب و معیشت در سطوح خرد و کلان را در مطالعات اخیر، فراهم کرده‌اند. در نهایت، شاخص‌های نهادی و تاب‌آوری مانند سطح مشارکت ذی‌نفعان، انعطاف‌پذیری نهادی و ظرفیت تاب‌آوری سیستم‌های محلی، افق جدیدی برای درک پایداری اجتماعی- ساختاری در ارزیابی کفایت آب ایجاد کرده‌اند. از آنجایی که محدودیت‌هایی مانند کمبود داده‌های دقیق، عدم هماهنگی نهادی و چالش‌های محیطی، روند ارزیابی را پیچیده می‌سازد، ترکیب شاخص‌ها و مدل‌ها با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله ایران، برای ارائه ارزیابی دقیق‌تر و کاربردی‌تر کفایت منابع آب حیاتی است. به‌علاوه، تاکید بر ابعاد نهادی- اجتماعی، ریسک و تاب‌آوری، به درک عمیق‌تر و جامع‌تر این مسئله کمک می‌کند و زمینه‌ساز توسعه سیاست‌ها و راهبردهای پایدار مدیریت منابع آب می‌شود. در مجموع، اگرچه هنوز چالش‌هایی در ادغام کامل همه این ابعاد وجود دارد، اما رویکردهای نوین و بین‌رشته‌ای، افق‌های جدیدی برای مدیریت جامع و پایدار منابع آب گشوده‌اند

References

- Ababaei, B., & Etedali, H. R. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural water management*, 179, 401-411.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.016>
- Ahmadi, A. (2022). The effect of increasing water use efficiency on improving the status of groundwater resources using WEAP model in Qazvin Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(1), 53-62.
<https://doi.org/10.22098/MMWS.2022.9333.1034>
- Ahmadzadeh, H., Mansouri, B., Fathian, F., & Vaheddoost, B. (2022). Assessment of water demand reliability using SWAT and

RIBASIM models with respect to climate change and operational water projects. *Agricultural Water Management*, 261, 107377.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107377>

- Ahmed, A., Sayed, S., Abdoulhalik, A., Moutari, S., & Oyedele, L. (2024). Applications of machine learning to water resources management: A review of present status and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 441, 140715.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140715>

- Aliyari, F., Bailey, R., Tasdighi, A., Dozier, A., Arabi, M., & Zeiler, K. (2019). Coupled SWAT-MODFLOW model for large-scale mixed agro-urban river basins.

- Environmental Modelling & Software*, 115, 200-210.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2019.02.014>
- Alizadeh, A., & Keshavarz, A. (2005). *Status of agricultural water use in Iran. Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an Iranian-American Workshop*. National Academies Press. Paris.
- Alizadeh, M., Noori, R., Omidvar, B., Nohegar, A., & Pistre, S. (2024). Human health risk of nitrate in groundwater of Tehran-Karaj plain, Iran. *Scientific Reports*, 14(1), 7830. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58290-6>
- Alsaeed, B., Hunt, D., & Sharifi, S. (2024). A Sustainable Water Resources Management Assessment Framework (SWRM-AF) for Arid and Semi-Arid Regions—Part 1: Developing the Conceptual Framework. *Sustainability*, 16(7), 42. <https://doi.org/10.3390/su16072634>
- Amini, A., Othman, K., Abassi, F., & Booij, M. (2025). Determining virtual water, physical and economic indices to optimize agricultural water consumption in three different climates. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 22(5), 2941-2954. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05967-0>
- Amini, M., Torkan, G., Eslamian, S., Zareian, M. J., & Besalatpour, A. A. (2018). Assessment of SWAT Hydrological Model in Catchments' Water Balance Simulation Located in Semi-Arid Regions (Case Study: Zayandeh-Rud River Basin). *Water and Soil*, 32(5), 849-863. <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i5.68815> (In Persian)
- Armitage, D., De Loë, R., & Plummer, R. (2012). Environmental governance and its implications for conservation practice. *Conservation letters*, 5(4), 245-255. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00238.x>
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., & Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- Asadi, H., Baghani, J., & Rafati, M. (2023). Physical and Economic Productivity of Irrigation Water and Profitability of Some Crop Products in Different Irrigation Systems in Alborz Province of Iran. *Agricultural Economics and Development*, 30(4), 53-72. <https://doi.org/10.30490/aead.2022.354870.1344>
- Ashu, A., & Lee, S. (2021). Simulation-Optimization Model for Conjunctive Management of Surface Water and Groundwater for Agricultural Use. *Water*, 13(23), 3444. <https://doi.org/10.3390/w13233444>
- Basheer, M., & Elagib, N. (2018). Sensitivity of Water-Energy Nexus to dam operation: A Water-Energy Productivity concept. *The Science of the Total Environment*, 616-617, 918-926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.228>
- Behboudian, M., & Kerachian, R. (2021). Evaluating the resilience of water resources management scenarios using the evidential reasoning approach: The Zarrinehrud river basin experience. *Journal of environmental management*, 284, 112025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112025>
- Bilalova, S., Newig, J., Tremblay-Lévesque, L., Roux, J., Herron, C., & Crane, S. (2023). Pathways to water sustainability? A global study assessing the benefits of integrated water resources management. *Journal of environmental management*, 343, 118179. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118179>
- Bonetti, S., Sutanudjaja, E., Mabhaudhi, T., Slotow, R., & Dalin, C. (2022). Climate change impacts on water sustainability of South African crop production. *Environmental Research Letters*, 17(8), 084017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac80cf>
- Bortolini, L., Maucieri, C., & Borin, M. (2018). A Tool for the Evaluation of Irrigation Water Quality in the Arid and Semi-Arid Regions. *Agronomy*, 8, 23. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY8020023>
- Cao, X., Cyuzuzo, C., Saiken, A., & Song, B. (2021). A linear additivity water resources assessment indicator by combining water quantity and water quality. *Ecological*

- Indicators, 121, 106990. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106990>
- Chen, X., Zhao, B., Shuai, C., Qu, S., & Xu, M. (2022). Global spread of water scarcity risk through trade. *Resources, Conservation and Recycling*, 187, 106643. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106643>
- Da Cunha E Silva, D., De Oliveira, R., Simonetti, V., Toniolo, B., Sales, J., & Lourenço, R. (2022). Creation of an environmental sustainability index for water resources applied to watersheds. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 11285-11305. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02527-9>
- Deltares. (2014). *RIBASIM – User Manual*. Delft, The Netherlands.
- Dogani, A., Dourandish, A., & Ghorbani, M. (2020). Ranking of Resilience Indicators of Mashhad Plain to Groundwater Resources Reduction by Bayesian Best-Worst Method. *Water and Irrigation Management*, 10(2), 301-316. <https://doi.org/10.22059/jwim.2020.303387.803> (In Persian)
- Ebrahimi, A., & Shourian, M. (2022). Quantity–quality-based water allocation programming in a reservoir–river system. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(9), 1016-1027. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.056>
- Ebrahimpour, M., Rahimi, J., Nikkhah, A., & Bazrafshan, J. (2015). Monitoring agricultural drought using the standardized effective precipitation index. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000771](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000771)
- Falkenmark, M., & Rockström, J. (2004). *Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology*. Earthscan.
- Falkenmark, M., Lundqvist, J., & Widstrand, C. (1989). Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural resources forum*, 13(4), 258-267. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x>
- FAO. (2012). *Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security*. FAO Water Reports No. 38.
- FAO. (2018). *Water Accounting for Water Governance and Sustainable Development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom.
- Farahza, M. N., Nazari, B., Akbari, M. R., Naeini, M. S., & Liaghat, A. (2020). Assessing the Physical and Economic Water Productivity of Annual Crops in Moghan Plain and Analyzing the Relationship between Physical and Economic Water Productivity. *Irrigation and Water Engineering*, 11(2), 166-179. <https://doi.org/10.22125/iwe.2020.120729>
- Feldman, A. (2000). *HEC-HMS Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers.
- Felegari, M., Sadr, M., Abdollahi, S., & Golkarian, H. (2024). Water yield modeling in the watershed: a framework for sustainable water resources management. *Sustainable. Water Resources Management*, 10, 148. <https://doi.org/10.1007/s40899-024-01129-9>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and society*, 15(4), 1-9.
- Ghorbani M, Salari F, Malekian A, Fahmi H. (2015) Analysis of Local Beneficiaries and Social Capital in Water Resources Co-Social Network Management (Case study: Watershed Razin of Kermanshah). *Jwmseir*, 9 (29), 35-46.
- Ghosh, T. (2024). Groundwater hydro-geochemical inferences and explainable Artificial Intelligence augmented groundwater quality prediction in arid and semi-arid segment of Rajasthan, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 26, 101272. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101272>
- Gleick, P. H. (1998). Water in crisis: paths to sustainable water use. *Ecological applications*, 8(3), 571-579.
- Habibi, S., Khoshravesh, M., & Nouri Khajebelagh, R. (2024). An Investigation on Physical Productivity of Water and Energy Indices in Two Contrasting Climates. *Journal of Water Research in*

- Agriculture*, 38(1), 1-14.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.363555.1010>
- Hamed, E., Chezgi, J., & Noor, H. (2022). The effect of watershed management scenarios on discharge and sedimentation with SWAT model in arid and semi-arid regions. *Journal of Arid Biome*, 12(2), 1-11.
<https://doi.org/10.29252/aridbiom.2023.20269.1937> (In Persian)
- Hanson, R., Rowan, J., & Green, M. (2022). An assessment of 2 watershed models to meet watershed planning needs. *Lake and Reservoir Management*, 38, 16-27.
<https://doi.org/10.1080/10402381.2021.2007181>
- Hatamkhani, A., & Moridi, A. (2019). Multi-Objective Optimization of Hydropower and Agricultural Development at River Basin Scale. *Water Resources Management*, 33, 4431-4450. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02365-x>.
- He, C., & James, L. (2021). Watershed science: Linking hydrological science with sustainable management of river basins. *Science China Earth Sciences*, 64, 677-690.
<https://doi.org/10.1007/s11430-020-9723-4>
- He, C., Harden, C., Holden, J., & Mdee, A. (2023). Watershed science: Coupling hydrological science and water resources management. *Hydrological Processes*, 37(5), e14889.
<https://doi.org/10.1002/hyp.14889>
- Hejabi, S., & Akhoondzadeh Yousefi, T. (2019). The Relationship between Virtual Water Exports and the Country's Water Resources Inventory. *Iranian Economic Review*, 23(3), 693-713.
<https://doi.org/10.22059/ier.2019.71794>
- Hering, J., & Ingold, K. (2012). Water Resources Management: What Should Be Integrated? *Science*, 336, 1234 - 1235.
<http://dx.doi.org/10.1126/science.1218230>
- Hoekstra, A. Y. (2019). *The water footprint of modern consumer society*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780429424557>
- Hoekstra, A., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2012). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.
- Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G., & Guo, R. (2016). Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature climate change*, 6(2), 166-171.
- Jaber, F., & Shukla, S. (2012). MIKE SHE: model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55, 1479-1489.
<https://doi.org/10.13031/2013.42255>
- Jalali, M., Antoniadis, V., & Najafi, S. (2021). Assessment of trace element pollution in northern and western Iranian agricultural soils: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-30.
<https://doi.org/10.1007/s10661-021-09498-w>
- Jalali, M., Jalali, M., & Morrison, L. (2024). Groundwater hydrogeochemical processes, water quality index, and probabilistic health risk assessment in an arid and semi-arid environment (Hamedan, Iran). *Groundwater for Sustainable Development*, 26, 101255.
<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101255>
- Jiang, Y., Xiong, L., Xu, Z., & Huang, G. (2021). A simulation-based optimization model for watershed multi-scale irrigation water use with considering impacts of climate changes. *Journal of Hydrology*, 598, 126395.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126395>
- Karandish, F., & Hoekstra, A. Y. (2017). Informing national food and water security policy through water footprint assessment: the case of Iran. *Water*, 9(11), 831.
<https://doi.org/10.3390/w9110831>
- Kardan moghaddam, H., & Roozbahani, A. (2022). Evaluation of DPSIR structure for balancing groundwater resources with multi-criteria decision making and stakeholder participation. *Journal of Aquifer and Qanat*, 3(1), 29-39.
<https://doi.org/10.22077/jaaq.2018.1454.1003> (In Persian)
- Khosravi, M., Zolfaghari, A., Kaboli, S. H., & Ghafari, H. (2022). Investigation of SWAT Model Efficiency in Spatial Analysis of Runoff in Watersheds without Local Soil Data (Case Study: Damghanrood Watershed). *Applied Soil Research*, 10(1), 129-143.
<https://doi.org/10.30466/ASR.2022.121201> (In Persian)
- Kim, Y., & Chung, E. (2014). An index-based robust decision making framework for watershed management in a changing climate. *The Science of the total environment*, 473-474, 88-102.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.002>
- Kiyani Majd, M., Nohtani, M., Dehmardeh Ghaleh, M. R., & Shikh Z. (2023). Simulating the Runoff of Watersheds in Dry Areas on A Monthly Scale using the SWAT Model (Case Study: Lar Watershed). *J Watershed Management Research*, 14(27), 135-145. <https://doi.org/10.61186/jwmr.14.27.135> (In Persian)
- Labadie, John W. (2006). MODSIM: Decision Support System for Integrated River Basin Management. *International Congress on Environmental Modelling and Software*. 242.
- Lankford, B., Pringle, C., McCosh, J., Shabalala, M., Hess, T., & Knox, J. (2022). Irrigation area, efficiency and water storage mediate the drought resilience of irrigated agriculture in a semi-arid catchment. *The Science of the total environment*, 859, 160263. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160263>
- Li, P., & Wu, J. (2023). Water Resources and Sustainable Development. *Water*, 16(1), 134. <https://doi.org/10.3390/w16010134>
- Li, Y., Tan, Q., Wang, X., Li, C., & Fu, Q. (2024). An integrated simulation-optimization modeling approach for coupled risk management of Blue Water and Green Water under changing environmental conditions. *Journal of Cleaner Production*, 478, 143779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143779>
- Lima, M., Barilari, A., Massone, H., & Pascual, M. (2021). Incorporating local researchers' and decision makers' preferences for groundwater resources management in a spatial multi-voiced decision model. *Journal of environmental management*, 302, 113954. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113954>
- Loucks, D. P., & Van Beek, E. (2017). *Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>
- Luh, J., Baum, R., & Bartram, J. (2013). Equity in water and sanitation: developing an index to measure progressive realization of the human right. *International journal of hygiene and environmental health*, 216(6), 662-671. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.12.007>
- Lyra, A., Loukas, A., Sidiropoulos, P., Tziatzios, G., & Mylopoulos, N. (2021). An Integrated Modeling System for the Evaluation of Water Resources in Coastal Agricultural Watersheds: Application in Almyros Basin, Thessaly, Greece. *Water*, 13(3), 268. <https://doi.org/10.3390/W13030268>.
- Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. *Iranian studies*, 49(6), 997-1016. (In Persian)
- Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of hydrology*, 381(3-4), 225-238. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.045>
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of environmental studies and sciences*, 4, 315-328. <https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z>
- Majidi, A., & Shahedi, K. (2012). Simulation of rainfall-runoff process using Green-Ampt method and HEC-HMS model (Case study: Abnama Watershed, Iran). *International Journal of Hydraulic Engineering*, 1(1), 5-9. <https://doi.org/10.5923/j.ijhe.20120101.02>
- Mansir, I., Bouchaou, L., Chebli, B., Brahim, Y., & Choukr-Allah, R. (2021). A specific indicator approach for the assessment of water resource vulnerability in arid areas: the case of the Souss-Massa Region (Morocco). *Hydrological Sciences Journal*, 66, 1151-1168. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1924379>
- Mardani, M., Ziaei, S., & Nikouei, A. (2018). Optimizing the Trade of Virtual Water in Regional Cropping Pattern of the Isfahan Province: Application of Multi-Criteria Models. *Agricultural Economics and Development*, 25(4), 39-88. <https://doi.org/10.30490/aead.2018.60994>
- Marston, L., Lamsal, G., Ancona, Z., Caldwell, P., Richter, B., Ruddell, B., Rushforth, R., & Davis, K. (2020). Reducing water scarcity by improving water productivity in the United States. *Environmental Research*

- Letters, 15(9), 094033. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9d39>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Mehta, L., Movik, S., & Manzungu, E. (2017). *Flows and Practices: The Politics of Integrated Water Resources Management in Eastern and Southern Africa*. African Books Collective.
- Meimandi, J., Bazrafshan, O., Esmaeilpour, Y., Zamani, H., & Shekari, M. (2024). Risk assessment of meteo-groundwater drought using copula approach in the arid region. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02641-8>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). *National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption*. UNESCO-IHE Report Series.
- Merz, B., Aerts, J. C. J. H., Arnbjerg-Nielsen, K., Baldi, M., Becker, A., Bichet, A., ... & Nied, M. (2014). Floods and climate: emerging perspectives for flood risk assessment and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(7), 1921-1942. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1921-2014>
- Milly, P. C., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066), 347-350. <https://doi.org/10.1038/nature04312>
- Mirchi, A., Madani, K., Watkins, D., & Ahmad, S. (2012). Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problems. *Water resources management*, 26, 2421-2442. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0024-2>
- Mirchooli, F., Sadeghi, S., Darvishan, K., & Strobl, J. (2021). Multi-dimensional assessment of watershed condition using a newly developed barometer of sustainability. *The Science of the total environment*, 791, 148389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148389>
- Mohammadi Arasteh, S., & Shoaee, S. M. (2023). A comprehensive review of the salinity assessment in groundwater resources of Iran. *Acta Geophysica*, 72(1), 385-403. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01047-y>
- Mohsenizadeh, E., & Shourian, M. (2018). Basin Scale Optimum Water Resources Allocation Planning by Coupling Modsim and Cuckoo Optimization Algorithm. *Iran-Water Resources Research*, 13(4), 1-16. (In Persian)
- Molden, D. (2013). *Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. Routledge.
- Nasiri, S., Ansari, H., & Ziaei, A. (2020). Simulation of water balance equation components using SWAT model in Samalqan Watershed (Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05366-y>
- Neves, M. (2024). Integrating Standardized Indices and Performance Indicators for Better Drought Assessment in Semi-Arid Coastal Aquifers. *Groundwater for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101341>
- Norouzi, N. (2022). Presenting a conceptual model of water-energy-food nexus in Iran. *Current Research in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100119>
- Núñez-López, J., Cansino-Loeza, B., Sánchez-Zarco, X., & Ponce-Ortega, J. (2021). Involving resilience in assessment of the water-energy-food nexus for arid and semiarid regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24, 1681 - 1693. <https://orcid.org/0000-0002-3375-0284>
- OECD. (2015). *OECD Principles on Water Governance*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/gov/regional-policy/OECD-Principles-on-Water-Governance.pdf>
- Ozelik, N., Rodríguez, M., Sartal, A., & Lutter, S. (2024). Taking away the economic “water productivity” illusion: An indicator inapt to inform meaningful water policies. *Ecological Indicators*, 165, 112220. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112220>

- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., & Taillieu, T. (2007). Social learning and water resources management. *Ecology and society*, 12(2), 19.
<https://doi.org/10.5751/es-02037-120205>
- Panahi, G., Eskafi, M., Rahimi, H., Faridhosseini, A., & Tang, X. (2021). Physical-chemical evaluation of groundwater quality in semi-arid areas: case study—Sabzevar plain, Iran. *Sustainable Water Resources Management*, 7.
- Pandey, S., Mohapatra, G., & Arora, R. (2023). Groundwater quality, human health risks and major driving factors in arid and semi-arid regions of Rajasthan, India. *Journal of Cleaner Production*, 427, 139149
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139149>
- Parizi, E., Hosseini, S. M., & Sadeghi, A. (2023). Assessing the Sustainability of Groundwater Resource Management for Aquifers in Iran's Central Plateau Basin. *Iran-Water Resources Research*, 19(3), 136-153.
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability, Doctoral dissertation, GIEC.
- Pashahkha, P., Babazadeh, H., Shahmohammadi-Kalalagh, S., & Sarai-Tabrizi, M. (2022). Salinity-based spatial evaluation of groundwater quality for agricultural use. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(7), 6833-6844.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-844577/v1>
- Pires, A., Morató, J., Peixoto, H., Botero, V., Zuluaga, L., & Figueroa, A. (2017). Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management. *The Science of the total environment*, 578, 139-147.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.217>
- Polonenko, L., Hamouda, M., & Mohamed, M. (2020). Essential components of institutional and social indicators in assessing the sustainability and resilience of urban water systems: Challenges and opportunities. *The Science of the total environment*, 708, 135159.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135159>
- Prucha, B., Graham, D., Watson, M., Avenant, M., Esterhuyse, S., Joubert, A., Kemp, M., King, J., Roux, P., Redelinghuys, N., Rossouw, L., Rowntree, K., Seaman, M., Sokolic, F., Rensburg, L., Waal, B., Tol, J., & Vos, T. (2016). MIKE-SHE integrated groundwater and surface water model used to simulate scenario hydrology for input to DRIFT-ARID: The Mokolo River case study. *Water SA*, 42, 384-398.
<https://doi.org/10.4314/WSA.V42I3.03>
- Qasemipour, E., Tarahomi, F., Pahlow, M., Malek Sadati, S. S., & Abbasi, A. (2020). Assessment of Virtual Water Flows in Iran Using a Multi-Regional Input-Output Analysis. *Sustainability*, 12(18), 7424.
<https://doi.org/10.3390/su12187424>
- Rafiei-Sardooi, E., Azareh, A., Shooshtari, S. J., & Parteli, E. J. (2022). Long-term assessment of land-use and climate change on water scarcity in an arid basin in Iran. *Ecological Modelling*, 467, 109934.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.109934>
- Rahaman, M. M., & Varis, O. (2005). Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: science, practice and policy*, 1(1), 15-21.
<https://doi.org/10.1080/15487733.2005.11907961>
- Ramroodi, H., Ajdari Moghadam, M. (2014). *Investigating the integrated water resources management using the WEAP model in southern Balochistan (Study area of Pirsohrab- Oraki basin)*, 8th National Civil Engineering Congress, Civil Engineering Faculty, Babol. (In Persian)
- Ruddell, B., & Rushforth, R. (2024). Water productivity is in the eye of the beholder: benchmarking the multiple values produced by water use in the Phoenix metropolitan area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28, 1089-1106.
<https://doi.org/10.5194/hess-28-1089-2024>
- Saab, S., Othman, F., Tan, C., Allawi, M., & El-Shafie, A. (2022). Review on generating optimal operation for dam and reservoir water system: simulation models and optimization algorithms. *Applied Water Science*, 12, 73.
<https://doi.org/10.1007/s13201-022-01593-8>
- Sadat-Noori, S. M., Ebrahimi, K., & Liaghat, A. M. (2014). Groundwater quality assessment

- using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 71, 3827-3843. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2770-8>
- Sadeghi, S., Moghadam, E., Delavar, M., & Zarghami, M. (2020). Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. *Agricultural Water Management*, 233, 106071. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106071>
- Sayad, d., Ghazavi, R., Omidvar, A. (2020). Evaluation of the efficiency of SWAT model in estimating daily discharges of no gauge basins with zoning approach in arid regions. *Hydrogeomorphology*. 7(25), 161-182. <https://doi.org/10.22034/hyd.2021.43934.1568> . (In Persian)
- SEI. (2015). *WEAP: Water Evaluation and Planning System User Guide*. Stockholm Environment Institute.
- Silva, D., Chaves, H., Curi, W., Baracuh, J., & Cunha, T. (2020). Application of the watershed sustainability index in the Piranhas-Açu watershed. *Water Policy*, 22(4), 622–640. <https://doi.org/10.2166/wp.2020.011>
- Singhal, A., Gupta, R., Singh, A., & Shrinivas, A. (2020). Assessment and monitoring of groundwater quality in semi –arid region. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100381>
- Sodori, M., Janatrostami, S., & Mohammadi, K. (2024). Evaluation of MIKE SHE and MIKE 11 Models for Simulating the Hydrology of Surface Water and Groundwater in the Foumanat Plain Aquifer. *Journal of Water and Sustainable Development*, 11(3), 165-174. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v11i3.2405-1327>
- Tekle, S., Bonaccorso, B., & Naim, M. (2025). Simulation-based Optimization of Water Resource Systems: A Review of Limitations and Challenges. *Water Resources Management*, 39, 579–602. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-04025-1>
- Tavosi, M., Vafakhah, M., Sadeghi, S., & Bateni, S. (2024). Sub-watershed Prioritization Based on Watershed Hydrological Security Using Different Multi-Criteria Decision-Making Methods. *Water Resources Management*, 39, 65–90. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03957-y>
- Thomas, B. F., Caineta, J., & Nanteza, J. (2017). Global assessment of groundwater sustainability based on storage anomalies. *Geophysical Research Letters*, 44(22), 11-445
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of water resources*, 1(3), 34-38.
- UNEP. (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. 162pp.
- UNESCO. (2021). *The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water*. UNESCO, <https://doi.org/10.18356/9789214030140>
- Van der Zaag, P., & Savenije, H. H. (2006). *Water as an economic good: the value of pricing and the failure of markets* (pp. 1-32). UNESCO-IHE.
- Vaz, T., Oliveira, B., & Brandão, L. (2024). Optimisation for operational decision-making in a watershed system with interconnected dams. *Applied Energy*, 367, 123385. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123385>
- Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *science*, 289(5477), 284-288.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>
- Wang, K., Davies, E., & Liu, J. (2019). Integrated water resources management and modeling: A case study of Bow river basin, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 2040, 118242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118242>

- Wang, L., Jie, F., & He, B. (2024). Changes of blue and green water in arid inland dissipation area based on coupled surface water and groundwater model. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, 102010. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102010>
- Wang, Z., & Wang, Y. (2023). Groundwater quality assessment by multi-model comparison: a comprehensive study during dry and wet periods in semi-arid regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 51571-51594. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25937-2>
- Wang, Z., Zhang, X., Liu, C., Ren, L., Cai, X., & Li, K. (2024). Hydrological Simulation and Parameter Optimization Based on the Distributed Xin'anjiang Model and the Particle Swarm Optimization Algorithm: A Case Study of Xunhe Watershed in Shandong, China. *Water*, 16(22), 3168. <https://doi.org/10.3390/w16223168>
- Wurbs, R. A. (1993). Reservoir-system simulation and optimization models. *Journal of water resources planning and management*, 119(4), 455-472. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1993\)119:4\(455\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1993)119:4(455))
- WWAP. (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. UNESCO, Paris.
- Xia, J., Ning, L., Wang, Q., Chen, J., Wan, L., & Hong, S. (2017). Vulnerability of and risk to water resources in arid and semi-arid regions of West China under a scenario of climate change. *Climatic Change*, 144, 549-563. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1709-y>
- Xiang, X., Li, Q., Khan, S., & Khalaf, O. (2021). Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106515. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106515>
- Xu, W., Kong, Y., Proverbs, D., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2022). A Water Resilience Evaluation Model for Urban Cities. *Water*, 14(12), 1942. <https://doi.org/10.3390/w14121942>
- Yadegari, A., Yousefi, A., & Amini, A. (2018). Institutional Analysis of Water Governance Structure in Iran: A Case of Zayande-Rood Basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(1), 184-197.
- Yan, N., Wu, B., & Zhu, W. (2020). Assessment of Agricultural Water Productivity in Arid China. *Water*, 12(4), 1161. <https://doi.org/10.3390/w12041161>
- Yan, Y., Liu, Z., Chen, X., & Huang, L. (2024). Stability of water yield in watersheds. *Science China Earth Sciences*, 67, 483–496. <https://doi.org/10.1007/s11430-023-1206-4>
- Yaraghi Fard M, Bidhendi M S. (2023). *Investigating Strategies for the Resilience of Water Resources in the Zayandeh River Watershed*, The 7th National Conference on Protection of Natural Resources and Environment. Ardebil. (In Persian)
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water international*, 30(4), 487-500.
- Yılmaz, B., & Harmancioglu, N. (2010). Multi-criteria decision making for water resource management: a case study of the Gediz River Basin, Turkey. *Water SA*, 36, 563-576. <https://doi.org/10.4314/WSA.V36I5.61990>
- Zallaghi, E., Akhoond-Ali, A. M. and Ashrafi, S. M. (2020). Developing Concept of Water-energy Productivity to Evaluate Dez Dam Operation. *Journal of Hydraulic Structures*, 6(4), 1-15. <https://doi.org/10.22055/jhs.2021.36362.1157>
- Zarch, M. A. A., Sivakumar, B., & Sharma, A. (2015). Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). *Journal of hydrology*, 526, 183-195. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.071>
- Zare, M., Pakparvar, M., Jamshidi, S., Bazrafshan, O., & Ghahari, G. (2021). Optimizing the Runoff Estimation with HEC-HMS Model Using Spatial Evapotranspiration by the SEBS Model. *Water Resources Management*, 35, 2633 - 2648. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02855-x>

Content

Quantitative Analysis of Key Dynamic Variables of Health Indices in Third-Order Watersheds of Iran

Seyed Hamidreza Sadeghi, Ali Nasiri Khiavi, Reza Chamani, Negin Behnia, Vahid Moosavi, Hamid Noori, Padidehsaday Sadeghi, Mohammad Hossein Shoushtari, Mehdi Vafakhah, Abdulvahed Khaledi Darvishan, Hamidreza Moradi Rekabdarkolaei

1-22

Developing management plans for the Goorsefid Watershed using a nested DPSIR framework

Gholamreza Khosravi, Vahedberdi Sheikh, Amir Sadoddin, Ali Shahbazi, Omid Asadi Nalivan, Ehsan Alvandi, Arash Zare Garizi

23-46

Spatiotemporal dynamics of soil erosion, sediment retention, and yield within the ecosystem services framework in a mountainous region of northern Iran

Mohsen Zabihi, Hamidreza Moradi, Abdulvahed Khaledi Darvishan, Mehdi Gholamalifard

47-63

Identifying and prioritizing barriers to sustainable community participation in watershed management (Case study: Kaki district, Bushehr province)

Ali Jafari, Parviz Bayat, Parsa Haghighi

64-78

The role of diversity and redundancy in the resilience of the socio-hydrological system: A comparative study of Tehran's Urban districts

Samira Mohammadian, Mehdi Ghorbani, Arash Malekian, Aboutaleb Mohammadi, Majid Rahimi

79-94

Optimizing Agricultural Land Use to Mitigate Soil Degradation in the Saravan Plain

Babak Khosravi Majd, Mohammad Reza Rigi, Seyed Reza Amiri, Mojtaba Mohamadi

95-109

Economic valuations of some rangeland ecosystem services (Case study: Kolashak watershed, Gilan-e-Gharb county)

Faezeh Shahbazi, Ali Mahdavi, Marzban Faramarzi

110-129

Systematic analytical review of evaluation methodologies for water resources adequacy in arid and semi-arid watersheds

Somayeh Mohammadi Jouzdani

130-155



Integrated Watershed Management

Vol: 6, No: 2. Summer 2026

Online ISSN	2783-4581
Publisher	Ilam University in association with Iranian Rainwater Catchment Systems Association
Director-in-Charge	Dr. Noredin Rostami
Editor-in-Chief	Dr. Haji Karimi
Editorial Board	Dr. Hosein Arzani (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran) Dr. Gholamreza Zehtabian (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran) Dr. Forood Sharifi (Professor, Research Group of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran) Dr. Haji Karimi (Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran) Dr. Hamid Reza Nassery (Professor, Department of Minerals and Groundwater Resources, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran) Dr. Hassan Pourbabaei (Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran) Dr. Mohsen Rezaei (Professor, Department of Geology, Shiraz University, Faculty of Sciences, Shiraz, Iran) Dr. Zargham Mohammadi (Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran) Dr. Hamid Reza Pourghasemi (Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran) Dr. Abazar Esmali Ouri (Professor, Department of Range & Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran) Dr. Mehdi Heydari (Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran) Dr. Mohsen Tavakoli (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran) Dr. Noredin Rostami (Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran) Dr. Marzban Faramarzi (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran) Dr. Lahcen Benaabidate (Professor, University of Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculty of Sciences and Techniques/ Environment Teaching and Research) Dr. Pedro J.M. Costa (Assistant Professor, Departamento de Ciencias da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal)
Manager	Dr. Mehdi Heydari
Editor (English Version)	Dr. Noredin Rostami
Editor (Persian Version)	Dr. Noredin Rostami; Dr. Reza Omidipour
Cover and Page Designer	Dr. Reza Omidipour



Ilam University



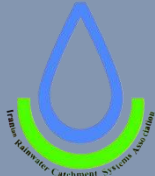
Address: **Deputy of Research and Technology, Ilam University, Pajooheh Bolvd, Ilam- Iran**

P.O. Box: 69317-516

Telefax: 0843222703

Email: iwm@ilam.ac.ir

Web Site: www.iwm.ilam.ac.ir



Integrated Watershed Management



Ilam University

Vol: 6, No: 2. Summer 2026

Online ISSN: 2783-4581

Quantitative Analysis of Key Dynamic Variables of Health Indices in Third-Order Watersheds of Iran

Seyed Hamidreza Sadeghi, Ali Nasiri Khiavi, Reza Chamani, Negin Behnia, Vahid Moosavi, Hamid Noori, Padidehsaday Sadeghi, Mohammad Hossein Shoushtari, Mehdi Vafakhah, Abdulvahed Khaledi Darvishan, Hamidreza Moradi Rekabdarkolaei

1-22

Developing management plans for the Goorsefid Watershed using a nested DPSIR framework

Gholamreza Khosravi, Vahedberdi Sheikh, Amir Sadoddin, Ali Shahbazi, Omid Asadi Nalivan, Ehsan Alvandi, Arash Zare Garizi

23-46

Spatiotemporal dynamics of soil erosion, sediment retention, and yield within the ecosystem services framework in a mountainous region of northern Iran

Mohsen Zabihi, Hamidreza Moradi, Abdulvahed Khaledi Darvishan, Mehdi Gholamalifard

47-63

Identifying and prioritizing barriers to sustainable community participation in watershed management (Case study: Kaki district, Bushehr province)

Ali Jafari, Parviz Bayat, Parsa Haghighi

64-78

The role of diversity and redundancy in the resilience of the socio-hydrological system: A comparative study of Tehran's Urban districts

Samira Mohammadian, Mehdi Ghorbani, Arash Malekian, Aboutaleb Mohammadi, Majid Rahimi

79-94

Optimizing Agricultural Land Use to Mitigate Soil Degradation in the Saravan Plain

Babak Khosravi Majd, Mohammad Reza Rigi, Seyed Reza Amiri, Mojtaba Mohamadi

95-109

Economic valuations of some rangeland ecosystem services (Case study: Kolashak watershed, Gilan-e-Gharb county)

Faezeh Shahbazi, Ali Mahdavi, Marzban Faramarzi

110-129

Systematic analytical review of evaluation methodologies for water resources adequacy in arid and semi-arid watersheds

Somayeh Mohammadi Jouzdani

130-155