



# مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴

شناسایی و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در تخریب حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)

۱-۱۶

احسان فتحی، محمدرضا اختصاصی، علی طالبی، جمال مصفایی

ارزیابی زیستایی حوزه آبخیز سازند استان مرکزی با استفاده از برخی معیارهای هیدرواقليمی

۱۷-۳۵

مرجان بهلکه، سیدحمیدرضا صادقی

بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی با استفاده از گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک قاین)

۳۶-۵۲

مجید هاونگی، مهدی امیرآبادیزاده، مهدی دستورانی

نقش سرمایه اجتماعی در تقویت حکمرانی محلی سرزمین: مطالعه موردی صندوق‌های اعتباری خرد در جوامع روستایی شهرستان باخرز

۵۳-۶۸

سید امیرحسین گرکانی، مهدی قربانی، احمد نادری، سجاد امیری، مجید رحیمی

کاربرد روش‌های فیلتر دیجیتال در ارزیابی آب‌پایه و تغذیه آب زیرزمینی در حوضه کشکان

۶۹-۸۶

علی حقی زاده، لیلا قاسمی، حافظ میرزاپور

اولویت‌بندی نقاط مناسب برای استحصال آب زیرسطحی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعه موردی: مناطق مرزی کلات و سرخس)

۸۷-۱۰۴

محمد رستمی خلج، حمزه نور، علی باقریان کلات، میر مسعود خیرخواه زرکش

مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) در شهرستان هلیلان با استفاده از روش حداکثر آنتروپی (MaxEnt)

۱۰۵-۱۱۷

بهروز ناصری

ارائه الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه

۱۱۸-۱۳۸

ایوب محمودی‌مستعلی، مرجان واحدی، علیرضا پورسعید، حامد چهارسوقی امین



# مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴

۴۵۸۱-۲۷۸۲

دانشگاه ایلام با همکاری انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبخیز 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 پرو 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: ۰۸۴۳۲۲۲۲۷۰۳

صندوق پستی: ۵۱۶-۶۹۳۱۵

پست الکترونیک: [iwm@ilam.ac.ir](mailto:iwm@ilam.ac.ir)

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



شناسایی و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در تخریب حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)

احسان فتحی، محمدرضا اختصاصی، علی طالبی، جمال مصفایی

۱-۱۶

ارزیابی زیستایی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی با استفاده از برخی معیارهای هیدرواقليمی

مرجان بهلکه، سیدحمیدرضا صادقی

۱۷-۳۵

بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی با استفاده از گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه

سینوپتیک قاین)

مجید هاونگی، مهدی امیرآبادیزاده، مهدی دستورانی

۳۶-۵۲

نقش سرمایه اجتماعی در تقویت حکمرانی محلی سرزمین: مطالعه موردی صندوق‌های اعتباری خرد در جوامع روستایی

شهرستان باخرز

سید امیرحسین گرکانی، مهدی قربانی، احمد نادری، سجاد امیری، مجید رحیمی

۵۳-۶۸

کاربرد روش‌های فیلتر دیجیتال در ارزیابی آب‌پایه و تغذیه آب زیرزمینی در حوضه کشکان

علی حقی زاده، لیلا قاسمی، حافظ میرزاپور

۶۹-۸۶

اولویت‌بندی نقاط مناسب برای استحصال آب زیرسطحی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعه موردی: مناطق

مرزی کلات و سرخس)

محمد رستمی خلج، حمزه نور، علی باقریان کلات، میر مسعود خیرخواه زرکش

۸۷-۱۰۴

مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) در شهرستان هلیلان با استفاده از روش حداکثر آنتروپی

(MaxEnt)

بهروز ناصری

۱۰۵-۱۱۷

ارائه الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه

ایوب محمودی‌مستعلی، مرجان واحدی، علیرضا پورسعید، حامد چهارسوقی امین

۱۱۸-۱۳۸



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

۱-۲. 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 ۲۵۰۰۰ و مقاله‌های کوتاه ۲۵۰۰ 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](http://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 چینش پشت 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.

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 پژوهش‌وی با دیگران در کجاست و به چه دلیل رخ داده است.

#### 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.

#### ۲-۹. 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.

#### ۲-۱۰. 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

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

۲-۴-۱. 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.

#### ۲-۵. 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.

#### ۲-۶. 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.

#### ۲-۷. 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

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. 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 approach*. 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](http://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.

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 هیچ‌گونه مسئولیتی در این زمینه نخواهد داشت.

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، پایان‌نامه، 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.

# مجموعه مقالات

## Identifying and determining the role of human and environmental factors in watershed degradation (Case study: Ilam Dam watershed)

Ehsan Fathi<sup>1</sup>, Mohammadreza Ekhtesasi<sup>1\*</sup>, Ali Talebi<sup>1</sup>, Jamal Mosaffaie<sup>2</sup>

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

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

\*Corresponding author: [Mr\\_Ekhtesasi@yazd.ac.ir](mailto:Mr_Ekhtesasi@yazd.ac.ir)

(Received: 06 January 2025

Revised: 26 January 2025

Accepted: 09 March 2025)

### Extended Abstract

**Introduction:** Watershed degradation is a critical environmental issue with significant impacts on water resources, local livelihoods, and ecosystem sustainability. These impacts include reduced water quality and quantity, soil erosion, decreased agricultural productivity, and disrupted ecological balance. The Ilam Dam watershed, affected by land-use changes, overexploitation of natural resources, and unsustainable human activities, has faced numerous challenges in recent years. This study aims to identify and assess the roles of human and environmental factors in the degradation of the Ilam Dam watershed.

**Materials and methods:** To achieve this, the study began with a comprehensive review of scientific literature to understand the factors contributing to watershed degradation. Additionally, consultations with local experts and residents were conducted to incorporate their insights and experiences. Field research, on-site visits, and analysis of previous studies and reports were also integral to identifying degradation factors. Two main categories of factors were identified: environmental and human-induced. Environmental factors included climate change, physiography, geology (rock type), and tectonics, with a total of 12 indicators. Human-induced factors encompassed high population growth and migration, infrastructure and settlement development, livestock farming, and agriculture, with 25 indicators. These indicators reflect the impacts of agricultural activities, infrastructure development, and land-use changes driven by population growth. The Analytical Hierarchy Process (AHP) and Expert Choice software were used to weigh and prioritize these factors. Expert judgments were collected through questionnaires distributed to 10 experts and university faculty members, providing accurate weights for each factor and indicator. These results formed the basis for developing strategies and management solutions to mitigate degradation and enhance the health of the Ilam Dam watershed.

**Results and Discussion:** The analysis revealed that climate change, with a weight of 0.550, was the most influential environmental factor contributing to watershed degradation. Among its indicators, drought (weight: 0.708) was the most critical, significantly affecting precipitation and water resources. In the physiography sub-criterion, steep slopes (weight: 0.723) were identified as a primary factor, increasing soil erosion and surface runoff. In geology, erosion-prone formations (weight: 0.708) accelerated soil erosion and land vulnerability. In tectonics, fracture density (weight: 0.731) reduced land stability and exacerbated degradation. Among human-induced factors, agriculture (weight: 0.566) was the most influential. Encroachment on natural resources and land conversion (weight: 0.337) were significant under high population growth and migration. The expansion of residential areas (weight: 0.651) was a key indicator in infrastructure development. Input consumption in livestock farming (weight: 0.416) and excessive water extraction in agriculture (weight: 0.395) also significantly impacted the watershed's natural resources and environmental health. These findings provide essential guidelines for planning and managing natural resources in the Ilam Dam watershed.

**Conclusion:** This study highlights climate change and agriculture as the most significant environmental and human factors, respectively, driving the degradation of the Ilam Dam watershed. These findings underscore the need for improved natural resource management and sustainable strategies to mitigate these impacts. Comprehensive management programs are recommended to address climate change effects, enhance agricultural practices, and prevent further degradation. This research serves as a valuable guide for policymakers and managers in protecting and managing the Ilam Dam watershed effectively.

**Keywords:** Degradation, Environmental Factors, Hierarchical Analysis, Human Factors, Watershed Management

Citation: Fathi, E., Ekhtesasi, M., Talebi, A., & Mosaffaie, J. (2025). Identifying and determining the role of human and environmental factors in watershed degradation (Case study: Ilam Dam watershed). *Integrated Watershed Management*, 5(3), 1-16. doi= 10.22034/iwm.2025.2049954.1200

#### 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>).



## شناسایی و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در تخریب حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)

احسان فتحی<sup>۱</sup>، محمدرضا اختصاصی<sup>۱\*</sup>، علی طالبی<sup>۱</sup>، جمال مصفايي<sup>۲</sup>

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

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

\*نویسنده مسئول: Mr\_Ekhtesasi@yazd.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** تخریب حوزه‌های آبخیز یکی از معضلات کلیدی محیط‌زیست است که اثرات ناگواری بر منابع آبی، معیشت جوامع محلی، و پایداری اکوسیستم‌ها دارد. این تأثیرات مخرب شامل کاهش کیفیت و کمیت منابع آبی، فرسایش خاک، افت تولیدات کشاورزی و در نهایت برهم خوردن تعادل زیستی و اکولوژیکی منطقه است. حوزه آبخیز سد ایلام نیز به دلیل عواملی چون تغییرات کاربری زمین، افزایش بهره‌برداری از منابع طبیعی، و فعالیت‌های انسانی ناپایدار از این اثرات مستثنی نبوده و در سال‌های اخیر با مشکلات فراوانی مواجه شده است. این مقاله با هدف شناسایی و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام انجام گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** در ابتدا منابع علمی متعددی مورد بررسی قرار گرفت تا شناخت دقیق‌تری از عوامل تخریب حوزه آبخیز سد ایلام حاصل شود. همچنین جلسات متعددی با کارشناسان محلی و ساکنان منطقه برگزار گردید. بررسی مطالعات و گزارش‌های کارشناسی پیشین و همچنین پژوهش‌ها و بازدهی‌های میدانی نیز از دیگر مراحل شناسایی عوامل تخریب به شمار می‌روند. این بررسی‌ها منجر به شناسایی دو گروه کلی از عوامل، شامل عوامل محیطی و عوامل انسانی تخریب در حوزه آبخیز سد ایلام شد. در بخش عوامل محیطی، چهار زیر معیار مهم شامل تغییر اقلیم، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی (جنس سنگ) و زمین‌ساخت و تکتونیک، و در مجموع ۱۲ شاخص به‌عنوان عوامل محیطی شناسایی شدند. در بخش عوامل انسانی نیز چهار زیر معیار رشد جمعیت و مهاجرپذیری بالا، توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها، دامداری و دامپروری و کشاورزی با در نظر گرفتن ۲۵ شاخص مرتبط بررسی شدند. این شاخص‌ها شامل اثرات فعالیت‌های کشاورزی، تخریب‌های ناشی از توسعه زیرساخت‌ها و تغییرات کاربری اراضی به دلیل رشد جمعیت بود. برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی این عوامل از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. در این راستا، قضاوت‌های کارشناسی از طریق پرسشنامه با جامعه آماری ۱۰ نفر از خبرگان و اساتید دانشگاه جمع‌آوری گردید تا وزن هر یک از عوامل و شاخص‌ها به صورت دقیق تعیین شود.

**نتایج و بحث:** بررسی و تحلیل زیرمعیارها و شاخص‌های مرتبط با معیار محیطی نشان داد که زیرمعیار تغییر اقلیم، با وزن ۰/۵۵۰، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تخریب حوزه آبخیز سد ایلام است. در این میان، شاخص خشکسالی با وزن ۰/۷۰۸ به‌عنوان مهم‌ترین شاخص این زیرمعیار شناخته شد. خشکسالی به دلیل کاهش بارش و تأثیر مستقیم بر منابع آب، به‌عنوان عاملی مهم در کاهش سلامت محیطی منطقه نقش دارد. همچنین، در بخش فیزیوگرافی، شاخص شیب زیاد منطقه با وزن ۰/۷۲۳ به‌عنوان عامل اصلی شناخته شد؛ چراکه شیب زیاد، پتانسیل فرسایش خاک و سرعت رواناب را افزایش می‌دهد. در زیرمعیار زمین‌شناسی نیز، سازندهای حساس به فرسایش با وزن ۰/۷۰۸ اهمیت بالایی دارند؛ وجود چنین سازندهایی فرسایش خاک را تسریع و آسیب‌پذیری زمین را بیشتر می‌کند. در زیرمعیار زمین‌ساخت و تکتونیک نیز، تراکم درز و شکاف با وزن ۰/۷۳۱ به‌عنوان شاخص مهم شناسایی شد که می‌تواند منجر به کاهش پایداری زمین و تشدید تخریب در نواحی مختلف حوزه آبخیز شود. نتایج تحلیل معیار انسانی نیز بیانگر آن است که زیرمعیار کشاورزی با وزن ۰/۵۶۶ به‌عنوان مهم‌ترین عامل در بین عوامل انسانی شناخته شده است. در این بخش، تخریب منابع طبیعی و همچنین تغییر کاربری اراضی طبیعی با وزن ۰/۳۳۷ بیشترین تأثیر را در زیرمعیار رشد جمعیت و مهاجرپذیری بالا داشته‌اند. روند افزایشی مناطق مسکونی با وزن ۰/۶۵۱ در زیرمعیار توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها به‌عنوان شاخصی کلیدی محسوب می‌شود. مصرف نهاده‌ها در دامداری و دام‌پروری با وزن ۰/۴۱۶ و برداشت بی‌رویه آب در کشاورزی با وزن ۰/۳۹۵ نیز به‌عنوان شاخص‌های مهم در تخریب منابع طبیعی و کاهش سلامت محیطی حوزه آبخیز معرفی شده‌اند. **نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد که تغییر اقلیم و فعالیت‌های کشاورزی به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل محیطی و انسانی تخریب حوزه آبخیز سد ایلام بودند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت توجه به مدیریت بهتر منابع طبیعی و اتخاذ راهکارهای پایدار برای کاهش تأثیرات منفی این عوامل است. پیشنهاد می‌شود برنامه‌های مدیریتی جامع‌تری برای کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و بهبود روش‌های کشاورزی و دیگر زیرمعیارها اعمال شود تا از تخریب بیشتر حوزه آبخیز سد ایلام جلوگیری شود. این تحقیق می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاران و مدیران در راستای بهبود مدیریت و حفاظت از حوزه آبخیز سد ایلام مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل سلسله‌مراتبی، تخریب، عوامل انسانی، عوامل محیطی، مدیریت آبخیز

**استناد:** فتحی، ا.، اختصاصی، م.، طالبی، ع.؛ و مصفايي، ج. (۱۴۰۴). شناسایی و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در تخریب حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۳)، ۱-۱۶.

### 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 دسترس است.

## مقدمه

قابل‌اتکا و موردپذیرش جامعه جهانی است (Sadeghi *et al.*, 2018). بنابراین در این فرآیند شناسایی صحیح مشکلات حوضه می‌تواند یکی از مهم‌ترین مراحل برای اجرای این رویکرد باشد. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و استفاده از اصول مدیریتی و انسانی نقش مهمی در کاهش تخریب خاک، بهبود پوشش گیاهی، افزایش جریان پایه و آبدهی منابع آب مانند چشمه‌ها و قنات‌ها دارد (Sadeghi *et al.*, 2023). همچنین، این رویکرد با افزایش زمان تمرکز و زبری سطح خاک از وقوع سیلاب جلوگیری کرده (Chamani *et al.*, 2020)، دبی پیک سیلاب را کاهش داده (PourNabi *et al.*, 2014) و با بهره‌برداری پایدار از منابع آب، به ارتقاء وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنین حوزه کمک می‌کند (Sadeghi *et al.*, 2023). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز مفهومی است که در دهه ۱۹۷۰ میلادی توسط سازمان‌های بین‌المللی چون فائو ارائه شد (Esmaili & Abdullahi, 2010). هدف اصلی این مفهوم، انسان‌محوری در روند توسعه است تا حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی و محیط‌زیست صورت بگیرد (Mohseni Saravi, 2013). آگاهی از آسیب‌های آبخیز و پیامدهای آن، اصولی‌ترین گام در اجرای طرح‌های مدیریتی آبخیز و دستیابی به هدف‌های مدیریت جامع آبخیز است (Sadoddin *et al.*, 2017; Mosaffaie & Malekinezhad, 2017). در ادامه اولویت‌بندی آسیب‌های آبخیز یکی از گام‌های اساسی و حیاتی در فرآیند مدیریت آبخیز به شمار می‌رود. این اقدام نقش کلیدی در مدیریت بهینه آبخیزها ایفا کرده و زمینه را برای رفع موانع موجود و اتخاذ تصمیمات مؤثر در برنامه‌ریزی جامع و کارآمد فراهم می‌کند (Kamali *et al.*, 2023). یکی از ابزارهای مدیریتی پرکاربرد در سال‌های اخیر، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۱</sup> است. این روش‌ها امکان تحلیل و پشتیبانی از تصمیمات را حتی در شرایطی که اهداف متعدد و

حوزه‌های آبخیز سامانه‌های اجتماعی - اکولوژیکی هستند که در آن انسان‌ها و دیگر موجودات زنده با محیط فیزیکی و یکدیگر تعامل دارند (Cabello *et al.*, 2018; Gari *et al.*, 2015). حوزه‌های آبخیز قادرند مزایای گوناگونی را در اختیار انسان قرار دهند که به‌عنوان خدمات حوزه آبخیز شناخته می‌شوند. این خدمات نقش حیاتی در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کنند و طیف گسترده‌ای از نیازهای جوامع انسانی از قبیل تأمین آب و غذا تا ارزش‌های فرهنگی و عملکردهای زیست‌محیطی را در بر می‌گیرند (Hamel *et al.*, 2018). 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 بیش‌ازحد از منابع امروزه کشور را با بحران جدی، به‌ویژه در زمینه آب و محیط‌زیست، مواجه کرده است. از طرفی مدیریت ناصحیح منابع آب و سرزمین، امنیت آبی و غذایی کشور که از اصلی‌ترین اهداف کلان ملی محسوب می‌شود را در معرض تهدید قرار داده است. به‌نحوی که افزایش تقاضا و رقابت برای دستیابی به منابع طبیعی بیشتر و باکیفیت‌تر موجب ناپایداری اجتماعی و سیاسی و ظهور ناپایداری در مؤلفه‌های محیطی می‌شود (Bayat *et al.*, 2021). امروزه، تخریب شدید محیط‌زیست و کاهش عملکرد آبخیزها در راستای تأمین نیازهای مختلف جوامع بشری بسیار حائز اهمیت است. در ایران نیز منابع طبیعی با آسیب‌ها و تهدیدهای جدی چون تغییر اقلیم، خشکسالی، کمبود آب، آلودگی آب، خاک، هوا، فرسایش شدید خاک، بیابان‌زایی، تغییرات کاربری زمین مانند جنگل‌تراشی، تخریب مراتع، کشاورزی نامناسب و غیراصولی و توسعه ناپایدار روبه‌رو است (Mosaffaie *et al.*, 2021). رویکرد مدیریت جامع حوزه آبخیز یکی از رویکردهای مدیریتی

طریق محاسبه‌گر رستری ترکیب شدند و نقشه GWPZs به دست آمد. نتایج نشان داد که ۶۸/۲۱ درصد از منطقه در طبقه با پتانسیل کم آب زیرزمینی و ۲۶/۳۰ درصد در طبقه متوسط قرار دارد. در تحقیقی دیگر، Rostami و Kazemi (۲۰۱۹) با در نظر گرفتن عواملی همچون ارتفاع، شماره منحنی، تراکم ساختمان، بافت فرسوده و تجمع جریان، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، جمعیت، زمین‌شناسی، شیب، خاک به پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش GIS و AHP پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق با خطر سیلاب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۰/۸، ۸/۵، ۴۹/۶، ۳۲/۵۴ و ۸/۵۶ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شوند. همچنین، فاصله از آبراهه، شماره منحنی، ارتفاع و کاربری اراضی به‌عنوان مؤثرترین عوامل در بروز خطر سیلاب شناسایی شدند. Pourfallah و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی به شناسایی مناسب‌ترین راهکار مدیریتی برای تعادل‌بخشی به آبخوان دشت ابرکوه با استفاده از روش AHP پرداختند. نتایج نشان داد که کشاورزی بیشترین تأثیر را در بی‌تعادلی آبخوان دارد. مهم‌ترین مشکلات این بخش به ترتیب شامل برداشت غیرمجاز آب، رقابت در بهره‌برداری، سامانه آبیاری ناکارآمد، الگوی کشت نامناسب، سطح زیرکشت گسترده، حفر چاه‌های غیرمجاز و توسعه صنایع پرآب‌خواه بودند. بر اساس یافته‌ها، راهکارهای مدیریتی نظیر مدیریت مصرف آب، اصلاح سامانه‌های آبیاری و بهبود الگوی کشت شناسایی و ارزیابی شدند. Habibnejad Roshan و همکاران (۲۰۲۳) برای شناسایی و اولویت‌بندی مناطق سیل‌گیر در حوزه آبخیز کارون از AHP مبتنی بر GIS استفاده کردند. در این تحقیق، ۱۵ پارامتر مؤثر در وقوع سیلاب انتخاب شد. وزن‌دهی این پارامترها با استفاده از مدل AHP نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. نتایج مدل AHP نشان داد که بارندگی، مقدار شیب و طبقات ارتفاعی

گاه متناقض وجود دارد، فراهم می‌کنند (Soori *et al.*, 2017). در این پژوهش، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP<sup>1</sup>) برای وزن‌دهی به عوامل مؤثر در تخریب آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به‌عنوان یکی از جامع‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه شناخته می‌شود. از ویژگی‌های برجسته این روش می‌توان به قابلیت معادله‌سازی مسئله به‌صورت سلسله‌مراتبی و در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی مرتبط با موضوع اشاره کرد (Saaty & Vargas, 2001). در این راستا پژوهش‌های متعددی در آبخیزها با استفاده از روش AHP انجام شده است که در زیر به برخی موارد اشاره می‌شود. Preciado-Jiménez و همکاران (۲۰۱۴) با بهره‌گیری از روش AHP و شاخص پایداری، پایداری حوزه آبخیز لرما-چاپالا در کشور اسپانیا را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که منطقه در وضعیت پایداری ضعیفی قرار دارد. در این مطالعه، فعالیت‌های شدید کشاورزی و دامداری، همراه با فقدان تعامل میان عوامل سیاسی، اقتصادی و اجتماعی، به‌عنوان عوامل اصلی تخریب این حوضه شناسایی شدند. Tarigan و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش AHP و تکمیل پرسش‌نامه‌ها، به اولویت‌بندی بازسازی زهکش‌های شهری برای مدیریت منابع آب در شهر مدان پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از این روش با خروجی پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط کارشناسان مطابقت داشت و توانمندی روش AHP در تصمیم‌گیری مسائل مدیریت شهری مورد تأیید قرار گرفت. Castillo و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از روش AHP و داده‌های سنجش از دور، منابع آب زیرزمینی را در حوزه آبخیز سان‌لوئیس پوتوسی مکزیک ارزیابی و پتانسیل‌یابی کردند. در این پژوهش، هفت لایه اطلاعاتی شامل زمین‌شناسی، تراکم خطی، کاربری و پوشش زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، بارندگی، تراکم زهکشی و شیب تهیه شد. پس از وزن‌دهی و رتبه‌بندی با روش AHP، این لایه‌ها از

توانمندی‌های موجود در این حوزه آبخیز نیز استفاده نمود.

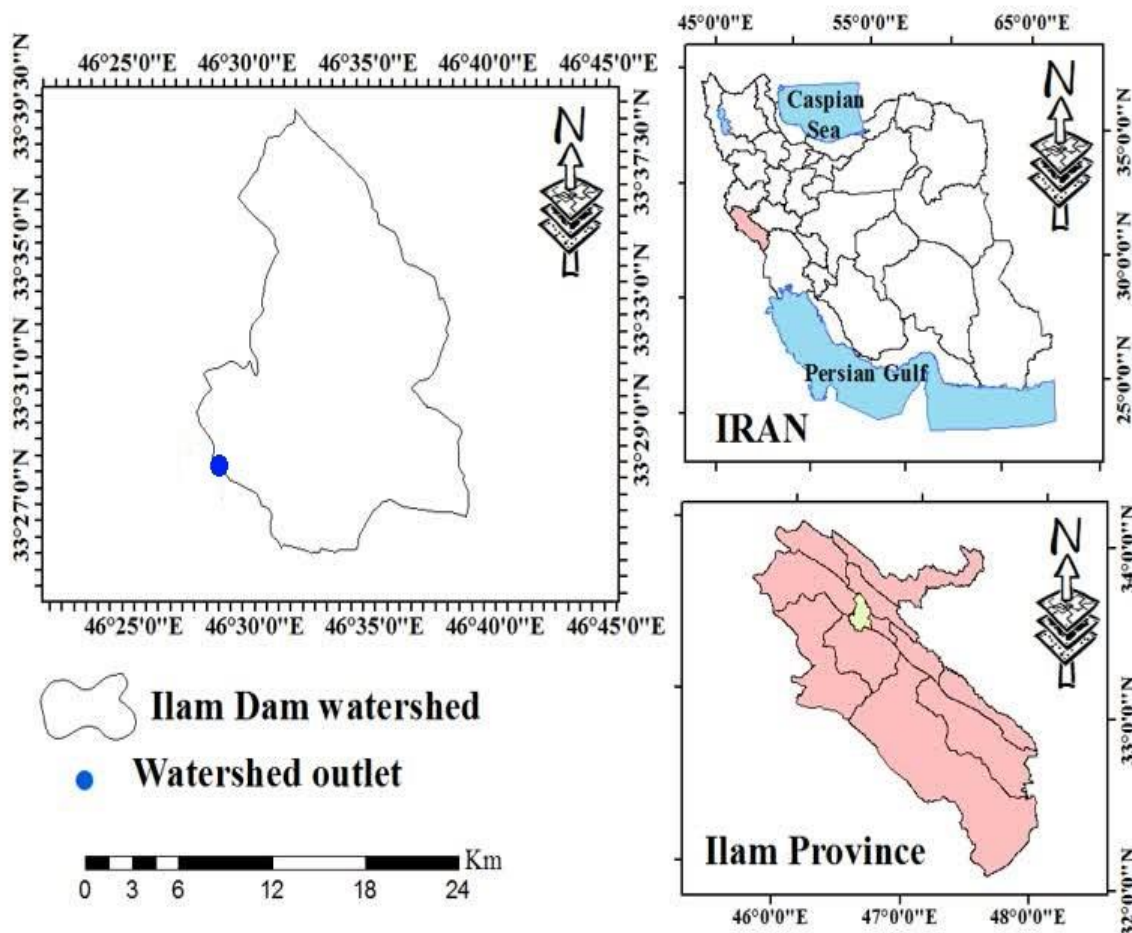
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

زیرحوزه گل‌گل با مساحت ۲۵۵۳۰ هکتار به‌عنوان یکی از زیرحوزه‌های آبخیز سد ایلام در استان ایلام قرار گرفته و از نظر موقعیت بین "۴۴'۱۶°۴۶ تا "۲۴'۱۸°۴۶ طول شرقی و "۴'۱۹°۳۳ تا "۱۲'۳۲°۳۳ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). بر این اساس حداکثر ارتفاع این حوضه ۲۶۰۵ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۰۵۲ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارش سالانه در این حوضه در دوره آماری سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ حدود ۵۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای حداکثر و حداقل نیز به‌ترتیب ۲۳/۲۵ و ۱۱/۰۶ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس روش آمبرژه نوع اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب معتدل و در روش دومارتن نوع اقلیم مدیترانه‌ای است. حوضه مورد مطالعه در محدوده زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. واحدهای سنگی و آبرفتی موجود در حوضه مربوط به ادوار مختلف زمین‌شناسی می‌باشند. سن واحدهای سنگی مختلف منطقه درجات عمومی از سمت جنوب غرب به سمت شمال شرق و شمال کاهش می‌یابد. سنگ‌شناسی غالب حوضه نیز شامل آهک دولومیتی و مارنی، آهک رسی - مارن و آهک رسی و شیل - مارن، گچ، آهک رسی و انیدریت و رسوبات آبرفتی کواترنر می‌باشد. کاربری‌های این حوضه شامل مرتع، جنگل، اراضی کشاورزی دیم و آبی، باغ و مناطق مسکونی هستند (Tavakoli et al., 2018).

به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل در بروز خطر سیلاب در حوزه آبخیز کارون هستند. برای کاهش خسارات ناشی از سیلاب و ارائه راهکارهای مدیریتی، توجه ویژه به این عوامل ضروری است.

بررسی مرور منابع نشان‌دهنده این است که روش AHP به دلایل سادگی و همچنین استفاده از نظریات و تجربیات کارشناسان، کاربرد بسیار مناسبی در ارزیابی و اولویت‌بندی مسائل و مشکلات در حوزه‌های آبخیز دارد. از طرف دیگر جمع‌بندی پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که باوجود استفاده از روش AHP در مطالعات مختلف، کمتر مطالعه‌ای به شناسایی و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در تخریب حوزه آبخیز پرداخته است. همچنین، اکوسیستم‌های موجود در حوزه‌های آبخیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و بررسی منابع نشان‌دهنده روابط پیچیده و متقابل بین اجزای مختلف یک سامانه آبخیز است (Alizadeh, 2006; Esmaili & Abdullahi, 2010). برآیند این روابط به‌صورت مشکلات و چالش‌هایی در یک حوزه‌های آبخیز بروز می‌کند. به همین دلیل بررسی مشکلات حوزه‌های آبخیز یکی از مباحث ضروری برای ارائه برنامه‌های مرتبط با منابع طبیعی است. به‌عبارت دیگر، طراحی برنامه‌ها در یک منطقه باید بر مبنای شناسایی و بررسی مشکلات آن منطقه در حوزه آبخیزها انجام گیرد (Ebrahimi Gatkash & Sadeghi, 2023). تخریب حوزه آبخیز به مجموعه فرآیندهایی گفته می‌شود که باعث کاهش کیفیت و کمیت منابع طبیعی آن می‌گردند. این فرآیندها ممکن است به‌صورت طبیعی رخ دهند یا نتیجه فعالیت‌های انسانی باشند و پیامدهای منفی بر محیط زیست، اقتصاد و جامعه بر جای بگذارند. لذا هدف از پژوهش حاضر شناسایی و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام با استفاده از AHP است؛ تا با استفاده از نتایج آن بتوان با برنامه‌ریزی صحیح و کاربردی ضمن کاهش تخریب‌ها در حوضه از



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز سد ایلام در استان ایلام و ایران  
Figure 1- Location of the Ilam dam watershed in Ilam Province and Iran

### روش تحقیق

مصاحبه‌هایی با آبخیزنشینان، تجربیات محلی و چالش‌های عملی در منطقه جمع‌آوری گردید. در نهایت، بازدید میدانی از منطقه برای تأیید اطلاعات و بررسی وضعیت فعلی منابع طبیعی، آب، خاک و پوشش گیاهی انجام شد.

### طراحی پرسشنامه

پس از شناسایی معیارها، زیرمعیارها و شاخص‌ها، یک پرسشنامه اختصاصی برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به نظرات خبرگان طراحی شد. این پرسشنامه با استفاده از مدل AHP برای ارزیابی وزن و اولویت معیارها مورد استفاده قرار گرفت. پرسشنامه توسط ۱۰ نفر از خبرگان و متخصصان حوزه آبخیز تکمیل گردید

در این پژوهش، با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل انسانی و محیطی مؤثر در تخریب حوزه آبخیز، از یک روش توصیفی-تحلیلی استفاده شد. ابتدا برای شناسایی معیارهای مؤثر، چندین روش به‌طور همزمان به کار گرفته شد. این روش‌ها شامل بررسی منابع علمی و پیشینه تحقیق، برگزاری جلسات طوفان فکری با کارشناسان و متخصصان، مصاحبه با آبخیزنشینان و بازدید میدانی از منطقه بود. در این فرآیند، اطلاعات به‌دست‌آمده از منابع علمی و پیشینه تحقیق به‌منظور استخراج بهترین معیارها از دیدگاه‌های مختلف تحلیل شد. همچنین، جلسات طوفان فکری با مشارکت کارشناسان محیط‌زیست و منابع طبیعی برگزار گردید تا دیدگاه‌های مختلف در مورد مشکلات و چالش‌های حوزه آبخیز شناسایی شوند. علاوه بر این، از طریق

تا داده‌های لازم برای تحلیل‌های بعدی جمع‌آوری شود.

### روش AHP

مدل AHP، به‌عنوان یکی از روش‌های شناخته‌شده برای تصمیم‌گیری چندمعیاره، توسط Saaty در سال ۱۹۷۰ معرفی شد. این روش بر مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌ها تمرکز دارد که باعث ساده‌سازی قضاوت‌ها و محاسبات می‌شود. یکی از مزایای عمده این روش، کاهش احتمال خطا و تسهیل اعمال نظر کارشناسان است. علاوه بر این، AHP این امکان را فراهم می‌آورد تا تعداد زیادی از عوامل مختلف را در نظر گرفته و وزن هر کدام را به دقت تعیین کرد (Haghighi et al., 2023).

در این روش، معیارها به‌صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و با استفاده از مقیاس ۹ درجه‌ای، درجه اهمیت هر معیار نسبت به دیگری مشخص می‌گردد. برای انجام این مقایسات، ماتریس مقایسات زوجی تنظیم می‌شود که در آن به هر مقایسه زوجی، یک عدد از ۱ تا ۹ اختصاص داده می‌شود (Agudelo - Vera et al., 2014). در این مقایسات، اگر یک معیار نسبت به دیگری برتری داشته باشد، از اعداد بیشتر (۳، ۵، ۷ یا ۹) استفاده می‌شود، و در صورت برابری اهمیت، عدد ۱ در نظر گرفته می‌شود؛ به عبارت دیگر سطرهای جدول نسبت به ستون‌های جدول ارزیابی می‌شوند و در صورتی که ستون‌ها به سطرها ارجحیت داشته باشند، اعداد باید معکوس شوند (Brundtland & Khalid, 1987). ارزش‌گذاری معیارها و گزینه‌ها مطابق جدول ۱ صورت می‌گیرد.

جدول ۱ - مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی در مدل AHP  
Table 1 – Preference values for pairwise comparisons in AHP model

مقدار عددی	ترجیحات
9	کاملاً مرجع یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
7	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
5	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
3	کمی مرجع یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
1	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
2,4,6,8	ترجیحات بین فواصل قبلی

پس از وزن‌دهی، برای اطمینان از سازگاری مقایسات زوجی، نرخ ناسازگاری<sup>۱</sup> (IR) محاسبه می‌شود. طبق استانداردهای AHP، اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات زوجی به‌عنوان سازگار در نظر گرفته می‌شوند. در صورتی که نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، نیاز به بازنگری در قضاوت‌ها و اصلاح مقایسات خواهد بود (Soori et al., 2017).

### استفاده از نرم‌افزار Expert Choice

برای محاسبه وزن‌ها و تحلیل مقایسات زوجی، از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. این نرم‌افزار به‌طور خاص برای تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره طراحی شده است. در این فرآیند، پس از وارد کردن مقادیر عددی معیارها و گزینه‌ها در نرم‌افزار، مقایسه‌های زوجی انجام شده و وزن هر معیار و شاخص محاسبه می‌شود.

1. Incompatibility Rate

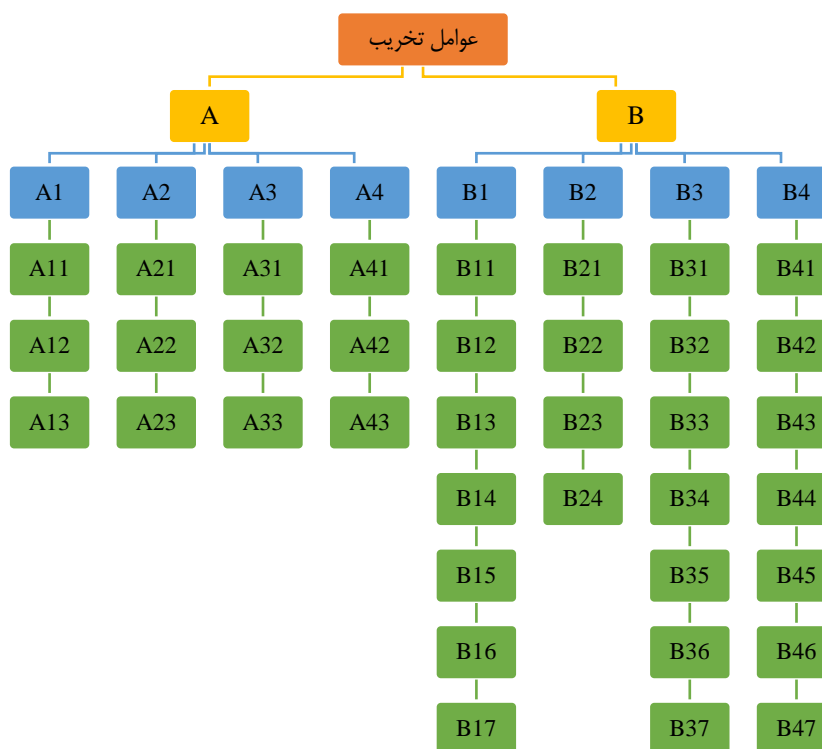
## نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری اطلاعات، تعداد ۸ زیرمعیار و ۳۷ گزینه یا شاخص (۴ زیرمعیار و ۱۲ گزینه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل محیطی و ۴ زیرمعیار و ۲۵ گزینه یا شاخص به‌عنوان مهم‌ترین عوامل انسانی) در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام شناسایی شدند که در جدول ۲ آورده شده‌اند. همچنین شکل ۲، مهم‌ترین عوامل تخریب انسانی و محیطی را به صورت درخت سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد.

جدول ۲- معیارها، زیرمعیارها و شاخص‌های مورداستفاده جهت تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در شدت تخریب حوزه آبخیز سد ایلام

**Table 2 – Criteria, sub-criteria, and indices used to determine the role of human and environmental factors in the Severity of degradation in the ilam dam watershed**

معیار	زیرمعیار	گزینه‌ها
Criteria	subcriteria	Options
محیطی (A)	تغییر اقلیم (A1)	خشکسالی (A11)، تغییر نوع بارش (A12)، تغییر مقادیر حدی پارامترهای اقلیمی (A13).
	فیزیوگرافی (A2)	شیب زیاد منطقه (A21)، تراکم نسبتاً زیاد آبراهه‌های حوضه (A22)، پدیده بادپناه (جهت حوضه) (A23).
انسانی (B)	زمین‌شناسی (A3)	- وجود سازندهای حساس به فرسایش (A31)، هوازدگی زیاد و تولید رسوب (A32)، هم‌جهتی لایه‌بندی سنگ‌ها با شیب زمین (A33).
	زمین‌ساخت و تکتونیک (A4)	تراکم درز و شکاف‌ها (A41)، تراکم گسل‌ها (A42)، جهت شیب (A43).
انسانی (B)	کشاورزی (B4)	افزایش تقاضا برای کشت (B11)، تخریب منابع طبیعی، تبدیل کاربری‌های طبیعی (B12)، تجاوز به حریم رودخانه‌ها (B13)، تهیه چوب برای سوخت و ذغال (B14)، تولید فاضلاب و زباله (B15)، وابستگی اقتصاد جوامع محلی به منابع آب و منابع طبیعی حوضه (B16)، مصرف منابع آبخیز (B17).
		توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها (B2)
	دامداری و دام‌پروری (B3)	تعداد دام‌ها (B31)، چرای زودرس دام (B32)، بریدن شاخه‌ها (B33)، چرای دام در جنگل (B34)، کوبیدگی و متراکم شدن خاک (B35)، بهره‌برداری مفرط از پوشش گیاهی (B36)، مصرف نهاده‌ها (B37).
	کشاورزی (B4)	مصرف مفرط سموم و کود (B41)، برداشت بی‌رویه آب (B42)، قطع درختان با هدف ایجاد اراضی قابل کشت (B43)، کشت محصولات پرمصرف آب (B44)، شخم‌زدن در جهت شیب (B45)، کشت در اراضی شیب‌دار بدون پتانسیل کشاورزی (B46)، تغییر غیراصولی کاربری زمین (B47).



شکل ۲ - درخت سلسله‌مراتبی عوامل انسانی و محیطی تخریب در حوزه آبخیز سد ایلام

Figure 2 - Hierarchical tree of human and environmental factors of degradation in Ilam Dam watershed

تمامی عوامل مورد تایید واقع شده است. نتایج حاصل از وزن‌دهی و رتبه‌بندی زیرمعیارها محیطی و انسانی (جدول ۳)، شاخص‌های مربوط به معیار محیطی (جدول ۴) و گزینه‌ها یا شاخص‌های انسانی (شکل ۳) ارائه شده است. براساس نتایج معیار انسانی با وزن ۰/۸۷۵ بالاترین تأثیر را داشته و در رتبه نخست قرار گرفته است، در حالی که معیار محیطی با وزن ۰/۱۲۵ در رتبه دوم قرار گرفته است.

**اولویت‌بندی عوامل محیطی و انسانی در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام**  
نتایج حاصل از وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها، زیرمعیارها و مهم‌ترین گزینه‌های تخریب محیطی و انسانی در حوزه آبخیز سد ایلام با استفاده از AHP و با کمک نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت. نرخ ناسازگاری تمامی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها کمتر از ۰/۱ به دست آمد که نشان داد وزن‌دهی و رتبه‌بندی

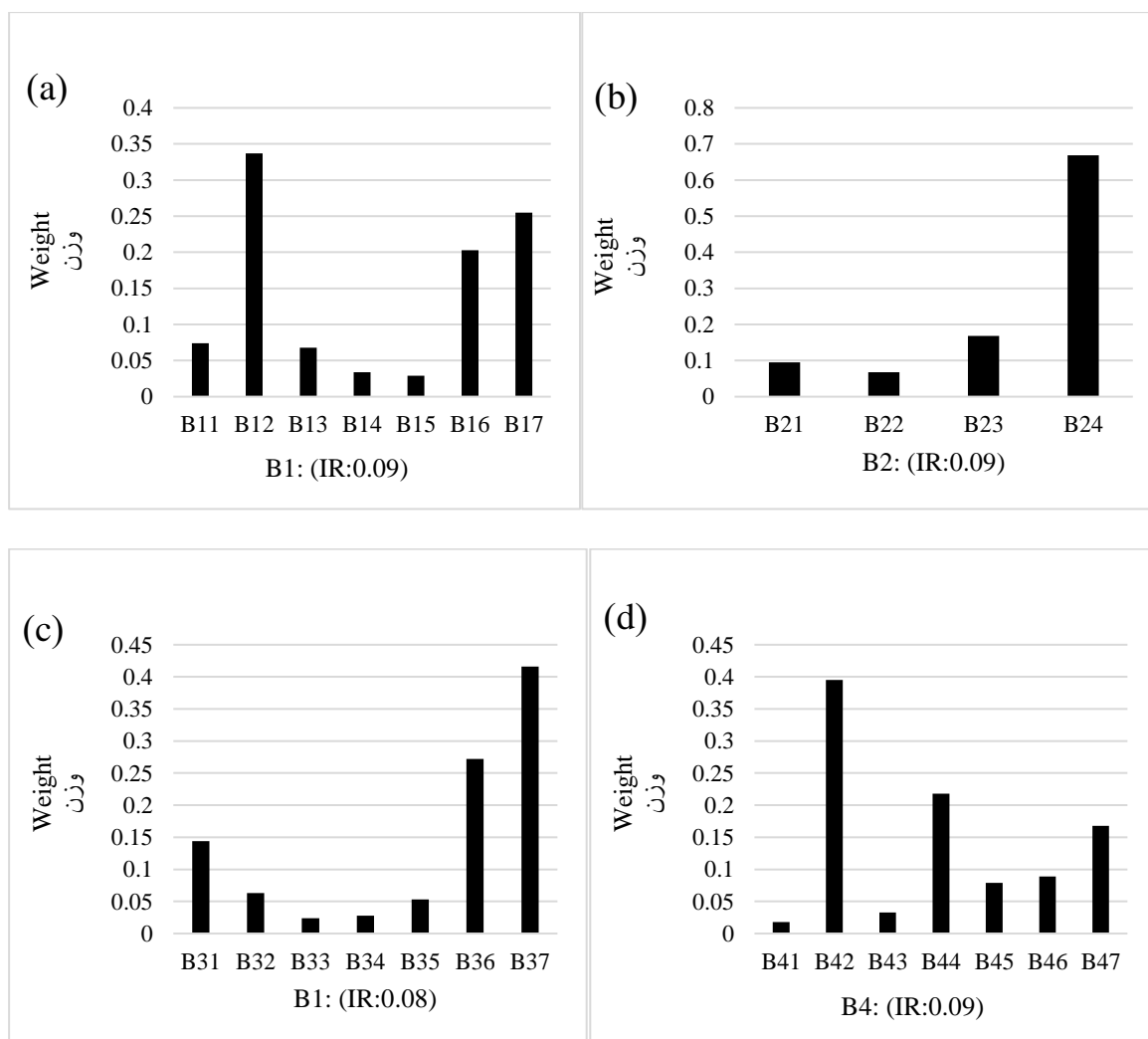
جدول ۳- وزن و رتبه‌بندی زیرمعیارهای محیطی و انسانی مربوط به تخریب در منطقه مورد مطالعه

Table 3 – Weights and rankings of environmental and human sub-criteria related to degradation in the study area Watershed

رتبه‌بندی	وزن	زیر معیارهای انسانی (IR: 0.09)	رتبه‌بندی	وزن	زیرمعیار محیطی (IR: 0.09)
Ranking	Weight	Human Sub-criteria (IR: 0.09)	Ranking	Weight	Environmental sub-criteria (IR: 0.09)
3	0.123	رشد جمعیت و مهاجرپذیری بالا (B1)	1	0.550	تغییر اقلیم (A1)
4	0.055	توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها (B2)	3	0.135	فیزیوگرافی (A2)
2	0.256	دامداری و دام‌پروری (B3)	2	0.232	زمین‌شناسی (A3)
1	0.566	کشاورزی (B4)	4	0.083	زمین‌ساخت و تکتونیک (A4)

جدول ۴- وزن و رتبه‌بندی شاخص‌های مربوط به معیار محیطی در تخریب در منطقه مورد مطالعه  
 Table 4 – Weights and Rankings of Indices Related to Environmental Criteria in the Degradation of the the study area

رتبه Rank	وزن Weight	شاخص index	زیرمعیار subcriteria	رتبه Rank	وزن Weight	شاخص index	زیرمعیار subcriteria
1	0.708	وجود سازندهای حساس به فرسایش (A31)		1	0.708	خشکسالی (A11)	
2	0.179	هوازدهی زیاد و تولید رسوب (A32)	زمین‌شناسی (IR: 0.05)	2	0.179	تغییر نوع بارش (A12)	تغییر اقلیم (IR: 0.05)
3	0.113	هم‌جهتی لایه‌بندی سنگ‌ها با شیب زمین (A33)		3	0.113	تغییر مقادیر حدی پارامترهای اقلیمی (A13)	
1	0.731	تراکم درز و شکاف‌ها (A41)	زمین‌ساخت و تکتونیک (IR: 0.06)	1	0.723	شیب زیاد منطقه (A21)	
3	0.081	تراکم گسل‌ها (A42)		2	0.199	تراکم نسبتاً زیاد آبراهه‌های حوضه (A21)	فیزیوگرافی (IR: 0.09)
2	0.188	جهت شیب (A43)		3	0.068	پدیده بادپناه (A23)	



شکل ۳- وزن شاخص‌های انسانی مربوط به تخریب در منطقه مورد مطالعه  
 Figure 3 - Weights of Human-Induced Degradation Indicators in the Study Area

کلی نادیده گرفته شود، زیرا تغییرات تکتونیکی می‌توانند به تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوزه آبخیز منجر شوند. نتایج جدول ۴ نشان داد که در زیرمعیار تغییر اقلیم، خشکسالی (A11) با وزن ۰/۷۰۸ به‌عنوان مهم‌ترین شاخص تأثیرگذار شناخته شده است. خشکسالی‌های مکرر می‌توانند منابع آبی را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهند، منجر به کاهش رطوبت خاک شوند و شرایط فرسایش خاک را تسریع کنند. همچنین، تغییر نوع بارش (A12) و تغییر مقادیر حدی پارامترهای اقلیمی (A13) با وزن‌های ۰/۱۷۹ و ۰/۱۱۳ به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند که نشان می‌دهد تغییرات در الگوهای بارش و نوسانات شدید اقلیمی نیز بر تخریب حوزه آبخیز تأثیرگذار هستند. توجه به تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. این امر شامل اقدامات پیشگیرانه و سازگاری با تغییرات آب و هوایی مانند مدیریت خشکسالی، استفاده از فناوری‌های جدید برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، و اجرای برنامه‌های حفاظت از منابع طبیعی است. Pei و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود به بررسی تأثیرات خشکسالی بر عملکرد محصولات کشاورزی در چین پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که بین شدت و فراوانی وقوع خشکسالی و عملکرد محصولات کشاورزی، ارتباطی قوی وجود دارد و بروز خشکسالی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در کاهش تولید محصولات زراعی و باغی داشته باشد. در زیرمعیار فیزیوگرافی، شیب زیاد منطقه (A21) با وزن ۰/۷۲۳ به‌عنوان عامل اصلی تخریب شناخته شده است. شیب زیاد می‌تواند باعث افزایش سرعت جریان آب و فرسایش خاک شود. تراکم نسبتاً زیاد آبراهه‌های حوضه (A22) با وزن ۰/۱۹۹ و پدیده بادپناه (A23) با وزن ۰/۰۶۸ در رتبه‌های بعدی قرار دارند که نشان‌دهنده تأثیر ساختار فیزیکی منطقه بر تخریب حوزه آبخیز است. در زیرمعیار زمین‌شناسی، وجود سازندهای حساس به فرسایش (A31) با وزن ۰/۷۰۸ به‌عنوان مهم‌ترین شاخص شناخته شده است.

با توجه به وقوع مخاطرات محیطی و تخریب و فشار بر آبخیزها، شناسایی و تعیین نقش عوامل محیطی و انسانی برای مدیریت مخاطرات و کاهش اثرات آن، افزایش امنیت غذایی و حفظ منابع آبی برای حوزه‌های آبخیز کشور بسیار مهم می‌باشد. در این مطالعه، مهم‌ترین عوامل انسانی و محیطی بر تخریب حوزه آبخیز سد ایلام شامل ۸ زیرمعیار و ۳۷ شاخص شناسایی شد. طبق نظر خبرگان و بر اساس نتایج حاصل از مدل AHP با استفاده از نرم‌افزار معیار عوامل انسانی با وزن ۰/۸۷۵ نسبت به معیار عوامل محیطی عامل مهم‌تری در تخریب حوزه آبخیز معرفی شد. نتایج جدول ۳ نشان داد که تغییر اقلیم (A1) با وزن ۰/۵۵۰ مهم‌ترین عامل محیطی در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام است. پس از آن، زمین‌شناسی (A3) و فیزیوگرافی (A2) با وزن‌های ۰/۲۳۲ و ۰/۱۳۵ به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. این نتایج بیانگر اهمیت بالای تغییرات آب و هوایی و تأثیرات گسترده آن بر منابع آب‌و‌خاک منطقه است. این تغییرات می‌توانند منجر به کاهش منابع آبی، تغییر در زمان و مقدار جریان رودخانه‌ها، و فرسایش خاک شوند. علاوه بر این، تغییر اقلیم می‌تواند بر تنوع زیستی و اکوسیستم‌های آبی تأثیر منفی بگذارد و امنیت آبی و غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. فیزیوگرافی شامل ویژگی‌های فیزیکی و شکل زمینی حوزه آبخیز است که می‌تواند بر جریان آب و فرسایش خاک تأثیرگذار باشد. زمین‌شناسی نیز با تأثیر بر نوع و ساختار خاک و سنگ‌های منطقه، نقش مهمی در پایداری زمین و فرسایش دارد. این دو زیرمعیار با اینکه وزن کمتری نسبت به تغییر اقلیم دارند، اما همچنان نقش قابل‌توجهی در تخریب حوزه آبخیز دارند و نباید نادیده گرفته شوند. در نهایت، زمین‌ساخت و تکتونیک (A4) با وزن ۰/۰۸۳ کمترین تأثیر را در بین زیرمعیارهای محیطی دارد. این امر ممکن است به دلیل پایداری نسبی تکتونیکی منطقه یا تأثیر کمتر آن نسبت به دیگر عوامل محیطی باشد. با این حال، نقش زمین‌ساخت و تکتونیک در طولانی‌مدت و در شرایط خاص نباید به

این سازندها به دلیل ساختار ضعیف و قابلیت فرسایش بالا می‌توانند به سرعت تخریب شوند و تولید رسوب کنند. شناخت دقیق سازندهای زمین‌شناسی و حساس به فرسایش و اتخاذ تدابیر مناسب برای حفاظت از آنها می‌تواند به پایداری حوزه آبخیز کمک کند. هوازگی زیاد و تولید رسوب (A32) با وزن ۰/۱۷۹ و هم‌جهتی لایه‌بندی سنگ‌ها با شیب زمین (A33) با وزن ۰/۱۱۳ در رتبه‌های بعدی قرار دارند که نشان‌دهنده اهمیت ویژگی‌های زمین‌شناسی در پایداری زمین و جلوگیری از فرسایش است.

زیرمعیار زمین‌ساخت و تکتونیک (A4) کمترین تأثیر را در بین معیارهای محیطی دارد، اما تراکم درز و شکاف‌ها (A41) با وزن ۰/۷۳۱ در این دسته بیشترین تأثیر را دارد. تراکم گسل‌ها (A42) با وزن ۰/۰۸۱ و جهت شیب (A43) با وزن ۰/۱۸۸ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. تراکم درز و شکاف‌ها می‌تواند باعث نفوذ بیشتر آب و تسریع در فرسایش شود، درحالی‌که جهت شیب و تراکم گسل‌ها می‌توانند به تغییرات ساختاری و ناپایداری زمین منجر شوند. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه تأکید می‌کنند که مدیریت و کاهش اثرات تغییر اقلیم باید در اولویت برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های محیطی قرار گیرد. همچنین، توجه به ویژگی‌های فیزیوگرافی و زمین‌شناسی نیز می‌تواند در بهبود وضعیت حوزه آبخیز سد ایلام مؤثر باشد. نتایج تحلیل وزن و رتبه‌بندی زیرمعیارهای انسانی در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام نشان داد که فعالیت‌های کشاورزی (B4) با وزن ۰/۵۶۶ به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیار انسانی شناخته شده است و بیشترین تأثیر را بر تخریب این حوزه دارد. در رتبه دوم، دامداری و دامپروری (B3) با وزن ۰/۲۵۶ قرار دارد که تأثیر قابل‌توجهی بر روی کاهش پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک دارد. رشد جمعیت و مهاجرپذیری بالا (B1) با وزن ۰/۱۲۳ نیز در رتبه سوم قرار گرفته و در نهایت، توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها (B2) با وزن ۰/۰۵۵ کمترین تأثیر را در بین زیرمعیارهای انسانی دارد. نتایج تحلیل شاخص‌های انسانی تخریب در حوزه آبخیز سد ایلام در

شکل ۳ نشان داد که از میان زیرمعیارهای مرتبط با رشد جمعیت و مهاجرپذیری بالا، تخریب منابع طبیعی و تغییر کاربری‌های طبیعی (B12) با وزن ۰/۳۳۷ به‌عنوان مهم‌ترین عامل تخریب شناسایی شده است. این یافته نشان‌دهنده تأثیر شدید دخالت‌های انسانی و تغییر کاربری‌های غیرقانونی بر منابع طبیعی و محیط‌زیست منطقه است. تغییر کاربری‌های طبیعی، مانند تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی یا مسکونی، می‌تواند به کاهش پوشش گیاهی، فرسایش خاک و کاهش تنوع زیستی منجر شود؛ و مصرف منابع آبخیز (B17) با وزن ۰/۲۵۵ در رتبه دوم قرار دارد. وابستگی اقتصاد جوامع محلی به منابع آب و منابع طبیعی حوزه (B16) نیز با وزن ۰/۲۰۳ و رتبه ۳، نشان‌دهنده تأثیرات اقتصادی و اجتماعی بر تخریب منابع طبیعی است. جوامع محلی که به منابع آب‌و‌خاک وابسته هستند، ممکن است به دلیل نیازهای معیشتی و اقتصادی، فشار زیادی بر این منابع وارد کنند. دیگر شاخص‌ها (B11، B13، B14 و B15) با وجود اینکه وزن کمتری دارند، اما همچنان می‌توانند در کنار عوامل اصلی، تأثیرات منفی خود را بر حوزه آبخیز بگذارند. تحلیل شاخص‌های مرتبط با توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام نشان می‌دهد که روند افزایشی مناطق مسکونی (B24) با وزن ۰/۶۶۹ به‌عنوان مهم‌ترین عامل تخریب شناسایی شده است. این افزایش مناطق مسکونی به تغییر کاربری اراضی طبیعی و فشار بر منابع طبیعی منجر می‌شود. توسعه خطوط انتقال گاز و برق (B23) با وزن ۰/۱۶۸ در رتبه دوم قرار دارد. توسعه این خطوط می‌تواند به ایجاد راه‌های جدید و تخریب مناطق بکر، به‌ویژه در نواحی دورافتاده، منجر گردد. خاکبرداری و خاکریزی (B21) با وزن ۰/۰۹۵ و ریختن نخاله‌های ساختمانی در کنار جاده و آبراه‌ها (B22) با وزن ۰/۰۶۸ به‌ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم قرار دارند. خاکبرداری و خاکریزی می‌تواند به تغییرات در ساختار زمین و افزایش فرسایش خاک منجر شود، درحالی‌که ریختن نخاله‌های ساختمانی ممکن است علاوه بر مشکلات زیست‌محیطی موجب

کاربری زمین (B47) با وزن ۰/۱۶۸ در رتبه‌های بعدی قرار دارند و به دلیل فشار بر منابع آبی و تغییرات در حوضه، تأثیرگذار هستند. کشت در اراضی شیب‌دار بدون پتانسیل کشاورزی (B46) و شخم در جهت شیب (B45) با وزن‌های ۰/۰۸۹ و ۰/۰۷۹، به ترتیب در رتبه‌های چهارم و پنجم قرار دارند و به فرسایش خاک و تغییرات در رواناب کمک می‌کنند. قطع درختان (B43) و مصرف مفرط سموم و کود (B41) نیز تأثیرات مهمی بر تخریب در حوضه دارند. برای کاهش تأثیرات منفی کشاورزی، باید به مدیریت برداشت آب، کاهش کشت محصولات پرمصرف و کنترل تغییرات کاربری زمین توجه کرد. Kashi Zenouzi و Nikoo (۲۰۲۳) در پژوهشی به ارزیابی تخریب سرزمین در حوزه آبخیز پردیسان استان قم با استفاده از روش ارزیابی ریسک تخریب سرزمین (RALDE<sup>1</sup>) پرداختند. در این مطالعه، برای تهیه نقشه پتانسیل تخریب سرزمین، هشت معیار اصلی شامل خاک و زمین، اقلیم، پوشش گیاهی، آب زیرزمینی، جمعیت، فشار دام، توسعه، و عوامل اقتصادی-اجتماعی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که خطر ناشی از عوامل طبیعی در بیش از نیمی از سطح منطقه به طور متوسط است، در حالی که در ۳۱ درصد از مساحت منطقه، خطر تخریب شدید و خیلی شدید مشاهده می‌شود.

کنترل فعالیت‌های انسانی به خصوص فعالیت‌های کشاورزی و دامداری نیز نقش مهمی در کاهش تخریب حوزه آبخیز دارد. این فعالیت‌ها شامل کاهش تعداد دام، جلوگیری از چرای بی‌رویه و بهره‌برداری مفرط از پوشش گیاهی است. همچنین، توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها باید به صورت پایدار و با در نظر گرفتن تأثیرات زیست‌محیطی انجام شود. این نتایج بر اهمیت مدیریت صحیح منابع موجود در آبخیز شامل بهینه‌سازی استفاده از منابع آبی و خاکی و جلوگیری از بهره‌برداری بیش‌ازحد آن‌ها، توجه به تغییرات

انسداد آبراهه‌ها نیز شود. نتایج تحلیل شاخص‌های دامداری و دام‌پروری (شکل ۳) در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام نشان می‌دهد که مصرف نهاده‌ها (B37) با وزن ۰/۴۱۶ مهم‌ترین عامل تخریب است. بهره‌برداری مفرط از پوشش گیاهی (B36) که موجب افزایش فرسایش خاک و کاهش تنوع زیستی می‌شود با وزن ۰/۲۷۲ در رتبه دوم قرار دارد. دیگر عوامل تأثیرگذار شامل تعداد دام مازاد حوضه (B31) با وزن ۰/۱۴۴ و چرای زودرس دام (B32) با وزن ۰/۰۶۳ هستند که به دلیل فشار بر پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک اهمیت دارند. کوبیدگی و متراکم شدن خاک (B35) و چرای دام در جنگل (B34) نیز به ترتیب با وزن‌های ۰/۰۵۳ و ۰/۰۲۸ تأثیرات منفی قابل‌توجهی دارند، در حالی که بریدن شاخه‌ها (B33) با وزن ۰/۰۲۴ کمترین تأثیر را دارد. Asar و Masoudi (۲۰۱۷) در پژوهش خود به بررسی تأثیر فشار دام بر بیابان‌زایی در منطقه میاندهی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بخش قابل‌توجهی از اراضی این منطقه در معرض خطر شدید بیابان‌زایی ناشی از فشار دام قرار دارد. به‌طور کلی، مدیریت بهینه نهاده‌ها، کاهش بهره‌برداری از پوشش گیاهی و کنترل تعداد دام می‌تواند به کاهش تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست در این حوضه کمک خواهد کرد. تحلیل شاخص‌های مرتبط با کشاورزی در تخریب حوزه آبخیز سد ایلام نشان داد که برداشت بی‌رویه آب (B42) با وزن ۰/۳۹۵ مهم‌ترین عامل تخریب است، زیرا کاهش منابع آبی و مشکلات تأمین آب را به همراه دارد. برداشت بی‌رویه آب منجر به کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی، افزایش فرسایش خاک، تغییر در الگوی جریان‌های هیدرولوژیکی و افزایش آلودگی آب شود. این عوامل منجر به تخریب زیستگاه‌های طبیعی و در نهایت تعادل اکولوژیکی حوضه را بر هم می‌زند. کشت محصولات پرمصرف آب (B44) با وزن ۰/۲۱۸ و تغییر غیراصولی

ناهنجاری‌ها است. این مطالعه به تحلیل و بررسی عوامل انسانی و محیطی مؤثر بر تخریب حوزه آبخیز سد ایلام پرداخته است. در این راستا، ۸ زیرمعیار و ۳۷ شاخص شناسایی شدند که بر اساس نظر خبرگان وزن‌دهی و رتبه‌بندی شدند. در میان عوامل محیطی، تغییر اقلیم به‌عنوان مهم‌ترین عامل و همچنین، زیرمعیار کشاورزی نیز به‌عنوان اصلی‌ترین عامل انسانی تخریب حوزه شناخته شد. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت مدیریت صحیح منابع، توجه به تغییرات اقلیمی، ویژگی‌های فیزیوگرافی و زمین‌شناسی و کنترل فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و نظارت بر توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها است. اولویت‌بندی این عوامل در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها محیطی می‌تواند به کاهش تخریب و بهبود وضعیت حوزه آبخیز سد ایلام کمک کند. این امر نیازمند همکاری بین نهادهای مختلف، از جمله دولت، سازمان‌های غیردولتی، جوامع محلی و دستگاه‌های اجرایی است. اتخاذ رویکردهای جامع و چندبعدی که شامل مدیریت بهینه منابع، کنترل فعالیت‌های مخرب انسانی، و افزایش آگاهی و مشارکت عمومی است، ضمن جلوگیری از تخریب، می‌تواند به حفظ و بهبود منابع طبیعی و محیط‌زیست منطقه کمک کند. برنامه‌های آموزشی و آگاه‌سازی نیز می‌توانند نقش مهمی در افزایش مشارکت عمومی و اجرای موفقیت‌آمیز این سیاست‌ها داشته باشند.

اقلیمی، ویژگی‌های فیزیوگرافی و زمین‌شناسی و کنترل فعالیت‌های انسانی تأکید دارد. مدیریت ضعیف در حوزه‌های آبخیز به‌ویژه عدم توجه به نیازها و فعالیت‌های جوامع محلی، می‌تواند فشار مضاعفی بر منابع طبیعی وارد کرده و منجر به افزایش تنش و تخریب این حوزه شود. فعالیت‌های انسانی غیرمترقبه، مانند کشاورزی بی‌رویه، توسعه مسکن و زیرساخت‌ها، بدون هماهنگی با اصول مدیریت پایدار، نه تنها به تخریب اکوسیستم‌ها و کاهش تنوع‌زیستی منجر می‌شود، بلکه تأثیرات منفی بر کیفیت زندگی و امنیت غذایی جوامع محلی نیز دارد. به‌منظور کاهش این اثرات، ضروری است که ذینفعان محلی در فرآیندهای مدیریتی مشارکت داشته و سیاست‌های جامع و هماهنگ تدوین شوند که به نیازهای محیطی و اجتماعی توجه کنند. با این رویکرد، می‌توان به مدیریت پایدار منابع طبیعی و بهبود وضعیت حوزه‌های آبخیز دست یافت.

### نتیجه‌گیری

حوزه آبخیز یک واحد بهینه برای مدیریت محیط‌زیست و کاهش تأثیر ناهماهنگی‌های طبیعی به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود. یکی از شروط اصلی در توسعه و مدیریت منابع طبیعی، شناخت و تعیین نقش عوامل انسانی و محیطی در این

### References

- Agudelo-Vera, C., Blokker, M., Vreeburg, J., Bongard, T., Hillegers, S., & Van Der Hoek, J. P. (2014). Robustness of the drinking water distribution network under changing future demand. *Procedia Engineering*, 89, 339-346. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.197>
- Alizadeh, A. (2006). *Relationship between soil, water, plant*. Astan Quds Razavi Publications, 470 pages. (In Persian)
- Asar, Z., & Masoudi, M. (2017). Assessment of livestock pressure and its effect on desertification hazard, case study area: Miyandehi Feizabad, Khorasan Razavi.

*Journal of Range and Watershed Management*, 70(2), 411-421. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.203982.994> (In Persian)

- Bayat, R., Gerami, Z., Arabkhedri, M., Peyrowan, H. R., & Kazemi, R. (2021). Investigating the Status of Some Indicators 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)

- Brundtland, G.H., & Khalid, M. (1987). *Our common future*. Oxford University Press, Oxford, GB.
- Cabello, V., Willaarts, B. A., Aguilar, M., & del Moral Ituarte, L. (2015). River basins as social-ecological systems: Linking levels of societal and ecosystem water metabolism in a semiarid watershed. *Ecology and Society*, 20(3), 20. <https://doi.org/10.5751/ES-07778-200320>
- Castillo, J. L., Martínez Cruz, D. A., Ramos Leal, J. A., Tuxpan Vargas, J., Rodríguez Tapia, S. A., & Marín Celestino, A. E. (2022). Delineation of groundwater potential zones (GWPZs) in a semi-arid basin through remote sensing, GIS, and AHP approaches. *Water*, 14(13), 2138. <https://doi.org/10.3390/w14132138>
- Chamani, R., Azari, M., & Kralisch, S. (2020). Hydrological response to future climate changes in Chehelchay Watershed in Golestan Province. *Watershed Engineering and Management*, 12(1), 72-85. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.122726.1522> (In Persian)
- Ebrahimi Gatkash, Z., & Sadeghi, S. H. (2022). Combined Application of Pressure-State-Response and Strategic Planning Approaches in Integrated and Problem-Oriented Management of the Makhsaz Watershed in Western Mazandaran, Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 11(3), 89-109. <https://doi.org/10.30495/wsrcj.2022.19229> (In Persian)
- Esmaili, A., Abdullahi, K. (2010). *Watershed management and soil protection*. Mohaghegh Ardabili University Press, 578 pages. (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>
- Habibnejad Roshan, M., Shahedi, K., & Roshun, S. H. (2023). Identification and prioritization of flooding areas using GIS-based analytical hierarchy process, case study: Karun Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 15(3), 367-385. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.356749.1929> (In Persian)
- Haghighi, A., Nohtani, M., Ghaleno, M. R. D., & Rafiei, E. (2023). Evaluating and detecting potential of groundwater resources using Fuzzy-AHP method and remote sensing data (Case study: Bam-Narmashir plain). *Integrated Watershed Management*, 3(1), 16-37. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2001770.1075> (In Persian)
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Célleri, R., Chandler, D., Chun, K.P., Destouni, G., Jacobs, S., asechko, S., Johnson, M., Krishnaswamy, J., Poca, M., Pompeu, P. V., & Rocha, H. (2018). Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology. *Ecohydrology*, 11(3), e1921. <https://doi.org/10.1002/eco.1921>
- Kamali, M., Azarnivand, H., Malekian, A., & Mosaffaei, J. (2023). Developing management solutions for Alolak watershed in the Qazvin province using the DPSIR approach. *Journal Watershed Management and Research*, 14(28), 148-162. <https://doi.org/10.61186/jwmr.14.28.148> (In Persian)
- Kashi Zenouzi, L., & Nikoo, Sh. (2023). Land degradation assessment in Pardisan Watershed by Risk Assessment of Land Degradation method (RALDE). *Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions*, 1(1), 59-79. (In Persian)
- Mohseni Saravi, M. (2013). *Hydrology of rangeland*. 1st edn, Jahad Daneshgahi, Tehran, Iran. 233 pages. (In Persian)
- Mosaffaie, J., & Malekinezhad, H. (2017). Peak flow estimation in ungauged atchments using flow index. *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(37), 85-88. <https://doi.org/20.1001.1.20089554.1396.11.37.1.5> (In Persian)
- Mosaffaie, J., Salehpour Jam, A., Tabatabaei, M. R., & Kousari, M. R. (2021). Developing resources management responses in the Gorganroud Watershed using the driving force, pressure, state, impact, response (DPSIR) Software. *Watershed Management Research Journal*, 34(1), 93-111.

- <https://doi.org/10.22092/wmej.2020.341588.1308> (In Persian)
- Pei, F., Li, X., Liu, X., & Lao, C. (2013). Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. *Journal of Environmental Management*, 114, 362-371. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.031>
- Pourfallah, S., Ekhtesasi, M. R., Malekinezhad, H., & Barzegari, F. (2019). Determination of the most appropriate management strategy in balancing the aquifer of the Abarkuh plain using the analytic hierarchy process (AHP). *Watershed Management Research*, 32(4), 34-50. <https://doi.org/10.22092/wmej.2019.123047.1137> (In Persian)
- Nabipoor, Y., Vafakhah, M., & Moradi, H.R. (2014). Evaluation of Watershed Management Practices (WMPs) Effect on Flood Characteristics. *Quarterly Journal of Water and Soil Sciences*, 18(67), 199-215. (In Persian)
- Preciado-Jiménez, M., Aparicio, J., Güitrón-de los-Reyes, A., & Hidalgo-Toledo, J.A. (2013). Watershed sustainability index for the Lerma-Chapala Basin. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(4), 93-113.
- Rostami, N., & Kazemi, Y. (2019). Flood hazard zoning in the Ilam city using AHP and GIS. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6(1), 179-192. <https://doi.org/10.29252/jsaeh.6.1.10> (In Persian)
- Saaty, T.L., & Vargas, G.L. (2001). *Models, Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Kluwer Academic Publisher, Boston.
- Sadeghi, S.H., Payfeshoordeh, A., Pirooznia, Z., Piri, S., Hamzeh Bibalani, M., Khairparast, M., Sarouneh, F., Mostafaei Younjali, S., Naderi Marangelu, N., Noori, A. & Havasi, M. (2023). Revisiting the detailed-implementation studies of the Fakhran Watershed in South Khorasan based on the integrated watershed management plan. *Integrated Watershed Management*, 2(4), 1-16. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.1986487.1053> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Adhami, M., & Sheikh Mohammadi, M. (2018). Introduction and applicability of game theory in watershed comanagement. *Extension and Development of Watershed Management*, 6 (20), 1-8. (In Persian)
- Sadoddin, A., Shahabi, M., & Bai, M. (2017). *Integrated watershed assessment and management: Principles and approaches for modeling and decision making*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publishing. 170 p. (In Persian)
- Soori, S., Baharvand, S., & Amiri, V. (2017). Delineation of groundwater potential using AHPFuzzy (A Case Study: Romeshgan plain). *Journal of Environmental Geology*, 11(40), 11-26. (In Persian)
- Tarigan, A. P. M., Rahmad, D., Sembiring, R. A., & Iskandar, R. (2018). An application of the AHP in water resources management: a case study on urban drainage rehabilitation in Medan City. In *IOP conference series: materials science and engineering*, 309(1), 012096.
- Tavakoli, M., Karimi, H., & Norollahi, H. (2018). Investigation the effects of climate change on water resources of Ilam Dam Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(2), 157-170. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.109322.1264> (In Persian)

## Viability assessment of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, using some hydroclimatic factors

Marjan Bahlekeh, Seyed Hamidreza Sadeghi\*

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

\*Corresponding author: [sadeghi@modares.ac.ir](mailto:sadeghi@modares.ac.ir)

(Received: 06 December 2024

Revise: 14 January 2025

Accepted: 05 February 2025)

### Extended Abstract

**Introduction:** The excessive exploitation of natural resources, driven by the unsustainable practices of human societies to meet growing population needs, has become a critical global issue, threatening the health and sustainability of watersheds. To mitigate these risks, effective management measures are essential to build resilient communities capable of withstanding natural events and disasters. Accurate quantification of ecological changes and the identification of key indicators for watershed management are crucial for promoting resilience and ecological sustainability. In this context, *viability*—defined as the ability of a watershed system to return to its resilience threshold—is a vital concept for assessing the restoration of health and sustainability. However, analyzing and evaluating viability requires a comprehensive understanding of the complex relationships among various variables. Despite its importance, no prior research has specifically addressed the assessment of watershed viability.

**Materials and methods:** This pioneering study aims to evaluate the viability of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, based on its hydroclimatic characteristics. The study began by calculating selected hydroclimatic variables, followed by statistical analyses to identify and remove less relevant variables. Resilience and release thresholds were then determined for the remaining variables. The viability index was prioritized by comparing current conditions with these thresholds. Finally, the overall viability of the watershed was assessed by calculating the geometric mean of the hydroclimatic variables.

**Results and Discussion:** The modeling and zoning results revealed that the hydroclimatic viability index of the Shazand Watershed is 0.58, indicating an intermediate state. Notably, the prioritization of sub-watersheds using the viability method differs significantly from conventional estimation methods. While examining current conditions alone provides limited insights, comparing the variability of variables in resilient and release states with current conditions offers a more robust assessment. For instance, instead of taking management measures in sub-watershed 7 with high priority in the current conditions state, it is necessary to pay attention to sub-watershed 21 with viability, hydrological, and hydroclimatic priorities of 1, 4, and 1, respectively. Other high-priority watersheds include sub-watersheds 9, 20, 24, 16, 1, 11, and 15. The aforementioned sub-watersheds, especially 9, 20, and 11, are currently in good condition, but they have very low viability (high variability). Sub-watersheds 22, 5, and 4 are also among the sub-watersheds with high viability (low variability). By focusing on priority sub-watersheds, hydroclimatic conditions can be significantly improved, enhancing the stabilization of these areas. Key variables influencing viability include normal characteristic discharge and erosion rates, with industrial expansion in the region identified as a major driver of variability, particularly in sub-watersheds 3, 6, and 7.

**Conclusion:** This study demonstrates that identifying resilience and release thresholds for variables and comparing them with current conditions can help bring critical sub-watersheds closer to their resilience thresholds, preventing system collapse. Given the complexity of watershed systems and the multitude of factors influencing their performance, a comprehensive assessment of viability, incorporating all relevant variables, is essential for effective watershed management. The integration of modern technologies can further enhance our understanding of resources and environmental dynamics, ultimately improving comprehensive watershed management practices.

**Keywords:** Ecosystem Sustainability, Integrated Watershed Management, Released Threshold, Resilience Threshold, Watershed Elasticity.

Citation: Bahlekeh, M., & Sadeghi, S. H. (2025). Viability assessment of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, using some hydroclimatic factors. *Integrated Watershed Management*, 5(3), 17-35. doi=10.22034/iwm.2025.2047457.1192

#### 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>).



## ارزیابی زیستایی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی با استفاده از برخی معیارهای هیدرواقليمی

مرجان بهلکه، سیدحمیدرضا صادقی\*

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

\*نویسنده مسئول: [sadeghi@modares.ac.ir](mailto:sadeghi@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶

### چکیده مسبوت

**مقدمه:** بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی در ادامه رفتار نسنجیده جوامع بشری در راستای تأمین نیازهای ضروری جمعیت به یکی از مشکلات جدی کشورها تبدیل شده و سلامت و پایداری حوزه‌های آبخیز را تهدید می‌کند. انسان‌ها در هر نقطه از جهان نیاز دارند که اقدام‌های مدیریتی در راستای کاهش خطرها با هدف ساختن جوامع تاب‌آور در برابر رویدادها و بلایای طبیعی را انجام دهند. لذا کمی‌سازی دقیق روند تغییرات بوم‌شناختی و شاخص‌های مهم و تأثیرگذار برای مدیریت آبخیز از نظر تاب‌آوری و پایداری بوم‌شناختی ضروری است. در همین راستا، زیستایی (Viability) به مفهوم قابلیت سامانه آبخیز در برگشت به آستانه تاب‌آوری (Resilience) یکی از موضوعات مهم در ارزیابی توان بازیابی سلامت و پایداری است. از این‌رو برای تحلیل و ارزیابی آن می‌بایست شبکه‌ای از روابط متعدد بین متغیرهای مختلف مدنظر قرار گیرد. باین‌حال تاکنون پژوهشی در رابطه با ارزیابی زیستایی آبخیز گزارش نشده است.

**مواد و روش‌ها:** بر همین اساس مطالعه پیشگام حاضر با هدف ارزیابی زیستایی مبتنی بر ویژگی‌های هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند انجام شد. برای ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی، در ابتدا متغیرهای هیدرواقليمی اولیه محاسبه شدند. سپس تجزیه و تحلیل‌های آماری متغیرهای هیدرواقليمی انجام و برخی متغیرها حذف و برای متغیرهای باقی‌مانده، آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی تعیین شد. سپس اولویت‌بندی شاخص زیستایی با لحاظ شرایط فعلی، آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرهای مطالعاتی به‌دست آمد. درنهایت درجه زیستایی با محاسبه میانگین هندسی متغیرهای هیدرواقليمی مشخص شد.

**نتایج و بحث:** با توجه به نتایج مدل‌سازی و پهنه‌بندی انجام‌شده، شاخص زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند ۰/۵۸ و در وضعیت متوسط ارزیابی شد. قابل ذکر است اولویت‌بندی زیرآبخیزها با استفاده از روش زیستایی کاملاً متفاوت با روش‌های معمول برآوردی است. در این راستا بررسی شرایط فعلی با توجه به پویایی متغیرها به‌تنهایی نتایج قابل قبولی را ارائه نمی‌دهد و بررسی تغییرپذیری متغیرها در حالت تاب‌آور و رهاسازی و مقایسه فاصله آن‌ها با شرایط فعلی آبخیزها حائز اهمیت است. به‌طورمثال به‌جای انجام اقدامات مدیریتی در زیرآبخیز ۷ با اولویت بالا در حالت شرایط فعلی، توجه به زیرآبخیز ۲۱ با اولویت‌های زیستایی اقلیمی، هیدرولوژی و هیدرواقليمی به‌ترتیب ۴، ۱ و ۱ ضروری است. از دیگر آبخیزهای دارای اولویت بالا می‌توان به زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۲۴، ۱۶، ۱، ۱۱ و ۱۵ اشاره کرد. زیرآبخیزهای مذکور و به‌خصوص ۹، ۲۰، ۱۱ در شرایط فعلی در شرایط وضعیتی خوبی قرار دارند ولی از لحاظ زیستایی بسیار پایین (تغییرپذیری بالا) هستند. همچنین زیرآبخیزهای ۲۲، ۵، ۴ جزو زیرآبخیزهایی با زیستایی بالا (تغییرپذیری پایین) می‌باشند. با ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی و توجه به زیرآبخیزهای اولویت‌دار می‌توان شرایط هیدرواقليمی را به صورت چشم‌گیری در مقایسه با سایر زیرآبخیزها تغییر داد و حالت تثبیت زیرآبخیزها را بهبود بخشید. برای ایجاد حالت تثبیت در زیرآبخیزها توجه به متغیرهایی با تغییرپذیری بالاتر نسبت به متغیرهای دیگر کمک‌کننده خواهد بود. ازجمله متغیرهای مؤثر با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان به دبی مشخصه نرمال و میزان فرسایش اشاره کرد. یکی از دلایل اصلی این تغییرپذیری را می‌توان به گسترش صنایع مختلف در منطقه و تأثیرات آن بر رژیم هیدرولوژی نسبت داد. زیرا اثرات این تغییرپذیری در زیرآبخیزهای ۳، ۶ و ۷ واقع در مراکز صنعتی بیشتر مشهود است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج این پژوهش با مشخص شدن آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرها و مقایسه آن با شرایط فعلی می‌توان وضعیت زیرآبخیزهای بحرانی را به آستانه تاب‌آوری نزدیک و از رهاسازی سامانه جلوگیری کرد. همچنین به سبب پیچیدگی سامانه آبخیز و دخالت عوامل متعدد در عملکرد آن، ارزیابی جامع زیستایی آبخیز با لحاظ تمامی متغیرهای دخیل می‌تواند در مدیریت جامع حوزه آبخیز بسیار مؤثر باشد. به‌طورکلی استفاده از رویکردهای نوین در آبخیز می‌تواند با شناخت بهتر منابع و محیط، مدیریت جامع حوزه آبخیز را بهبود بخشد.

**واژه‌های کلیدی:** آستانه تاب‌آوری، آستانه رهاسازی، پایداری بوم‌سازگان، کشسانی آبخیز، مدیریت جامع آبخیز

استناد: بهلکه، م؛ و صادقی، س.ح. (۱۴۰۴). ارزیابی زیستایی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی با استفاده از برخی معیارهای هیدرواقليمی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۳۵(۳)، ۱۷-۳۵.

### 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

امروزه حوادث و بلایای طبیعی بیش از پیش جوامع انسانی را تهدید می‌کند. با گذشت زمان روند رو به افزایشی در تخریب منابع طبیعی وجود داشته و جهان، کنجکاو برای یافتن بهترین راه‌حل‌هاست؛ بنابراین انسان‌ها در هر نقطه از جهان نیاز دارند که اقدام‌های مدیریتی در راستای کاهش خطرها با هدف ساختن جوامع تاب‌آور در برابر رویدادها و بلایای طبیعی را انجام دهند (Balsalobre- Lorente *et al.*, 2023). در این راستا داده‌های جهانی نیز نشان‌دهنده این واقعیت است که طی دو دهه اخیر، بلایای طبیعی با تکرار زیادی نسبت به گذشته به وقوع پیوسته و اثرات مخرب جانی و مالی زیادی به همراه داشته است. در طول ۱۰۰ سال گذشته تنها از نظر اقتصادی بلایای طبیعی رخ داده حدود ۲۹ میلیارد دلار برای کشور هزینه دربرداشته است (Seddighi & Seddighi, 2020). بخش عمده‌ای از این هزینه‌ها و سایر اقدامات صورت گرفته عمدتاً به جای بهبود تاب‌آوری در برابر این فجایع، بیشتر صرف مقابله و بازیابی ناقص آن‌ها شده است (Vahidi *et al.*, 2024). همچنین بلایای اتفاق افتاده در سال‌های اخیر بیان‌گر این موضوع است که جوامع و افراد به‌صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیرتر شده‌اند و خطرهای افزایش یافته است.

در ایران خسارات ناشی از سیل گویای آسیب‌پذیری بسیار زیاد ایران در مقابل بلایای طبیعی است. آمار تلفات سیل منطقه تجریش تهران در سال ۱۳۶۶ با حدود ۳۰۰ کشته، سیل استان گلستان در سال ۱۳۸۰ با حدود ۵۰۰ کشته و سیل‌های سال ۱۳۹۸ با حدود ۷۷ نفر کشته و بیش از یک هزار زخمی تنها گوشه‌ای از خسارات سیل در ایران است؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای مقابله با دفع خطرات

احتمالی بلایای طبیعی اهمیت زیادی دارد (Amirnejad *et al.*, 2021).

در این راستا، افزایش خطرات غالباً به دلیل وابستگی زیاد به طبیعت و عدم تعادل بین استفاده از منابع و تولید آن‌هاست (Liu *et al.*, 2023). همچنین تغییر الگوی زندگی و به تبع آن مصرف‌گرایی بشر و تغییرات سیاستی و اقتصادی جوامع به‌عنوان عوامل اصلی تخریب پایداری منابع طبیعی مطرح است (Khakipour, 2024). در همین ارتباط با توجه به اهمیت منابع طبیعی و نقش آن‌ها در اموری مانند حیات‌بخشی، تداوم برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور و افزایش رفاه اجتماعی جامعه، ارزیابی وضعیت این منابع برای مدیریت صحیح و هدفمند آن‌ها برای حفظ، بهبود و همچنین بهره‌برداری اصولی در بلندمدت امری الزامی است (Fan & Wang, 2024). از آنجایی که بوم‌سازگان‌ها مهم‌ترین منبع تولید خدمات و کارکردهای موردنیاز بشر در جهان به‌شمار می‌روند و بخش بزرگی از خدمات گوناگون را برای میلیون‌ها انسان فراهم می‌کنند، مشکلات بوم‌شناختی به‌طور جدی تعادل بوم‌سازگان را ضعیف کرده است و بقای انسان را تهدید می‌کند (Vrsmarty *et al.*, 2013). بر همین اساس، اخیراً بررسی زمان و ماهیت تغییرات در بوم‌سازگان به‌عنوان یک چالش اساسی مطرح شده است، زیرا تغییر در بوم‌سازگان ناشی از فعالیت‌های غیرمنطقی انسان، تمام جلوه‌ها و جنبه‌های زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است (Yang *et al.*, 2011)؛ لذا کمی‌سازی دقیق روند تغییرات بوم‌شناختی و شاخص‌های مهم و تأثیرگذار برای مدیریت آبخیز از نظر تاب‌آوری<sup>۱</sup> و پایداری بوم‌شناختی<sup>۲</sup> ضروری است (Chai & Lha, 2018). حوزه‌های آبخیز کشور به‌عنوان جزئی از بوم‌سازگان، به سبب تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسانی

روزبه‌روز به سمت ناپایداری میل می‌کنند. چنان‌چه برخی از این تغییرات از آستانه حفاظتی حوزه‌های آبخیز عبور نماید، موجب کاهش سلامت و افت خدمات مورد انتظار از آبخیز خواهد شد (Mousavi *et al.*, 2021; Mohammadi Ostadkelayeh *et al.*, 2022). بر همین اساس و به‌منظور تقویت توان بازیابی<sup>۱</sup> سلامت و ایجاد پایداری بوم‌سازگان‌ها، مدل مفهومی زیستایی<sup>۲</sup> مورد توجه و مطالعه محققین قرار گرفته است.

زیستایی یک اصل مهم در ارزیابی توان بازیابی سلامت و پایداری است. به‌عبارت‌دیگر یک حوزه آبخیز موقعی زیست‌مستقر می‌باشد که بتواند پس از تحمل فشارهای وارده نسبت به بازیابی خود اقدام و مجدداً به محدوده تاب‌آوری وارد و سپس قادر به ارائه خدمات در جهت بهبود کیفیت آبخیز شود (Bahlekeh & Sadeghi, 2023). همچنین این مدل به‌دنبال شناسایی ویژگی‌های پویای جوامع و تعامل بین انسان و بوم‌سازگان است و به جای تمرکز بر آسیب‌پذیری‌های جامعه به ظرفیت‌های سازگاری آن توجه می‌کند. با این مدل، جامعه تاب‌آور می‌تواند از تجربه‌های تغییرات بوجود آمده برای رسیدن به توسعه پایدار و عملکرد بهتر استفاده کند و به‌جای بقا و حفظ خود در برابر عامل فشار یا تغییر می‌تواند با استفاده از روش‌های نوآورانه‌ای به تغییرات واکنش نشان دهد (Chen *et al.*, 2023). در این راستا اولویت‌بندی براساس ارزیابی زیستایی آبخیز، گامی ضروری و مهم در چرخه مدیریت موانع و تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جامع و کارآمد آبخیز است.

پیشینه پژوهش مشخص و مرتبط خاصی در ارتباط با زیستایی آبخیز گزارش نشده، اما مستندات متعددی در خصوص ارزیابی مؤلفه‌های مختلف تاب‌آوری، پایداری و آسیب‌پذیری و همچنین آستانه‌های مربوطه و قابل‌استفاده در ارزیابی

زیستایی گزارش شده است. در این ارتباط Lu و همکاران (۲۰۱۵) چگونگی محاسبه سلامت بوم‌سازگان در جهت دستیابی به پایداری را مورد مطالعه قرار دادند و معیار و اصول اصلی برای انتخاب شاخص در انواع بوم‌سازگان‌ها را ارائه کردند. نیروی محرک، پایداری و تاب‌آوری به‌عنوان عوامل حیاتی برای سلامت بوم‌سازگان و ارزیابی آن در نظر گرفته شد. نتایج ایشان نشان داد که شناخت محیط‌زیست با ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیستی و سیاست‌های مدیریتی از چالش‌های اصلی در زمینه ابداع راهبردهای عملی برای حفظ سلامت بوم‌سازگان در آینده است. همچنین Hazbavi و Sadeghi (۲۰۱۷) مدل مفهومی پایایی، تاب‌آوری-آسیب‌پذیری ( $RelResV_{ut}$ )<sup>۳</sup> را برای متغیرهای شاخص بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۴</sup>، دبی‌های مشخصه کم‌آبی و پربابی و غلظت رسوب طی یک دوره زمانی ۳۱ ساله (۲۰۱۴-۱۹۷۷) بر استان مرکزی برای هرکدام از متغیرهای مطالعاتی مفهوم‌سازی و بومی‌سازی کردند. طبق تحلیل‌های به‌عمل آمده، مقدار شاخص سلامت آبخیز بیان‌گر پایین بودن وضعیت سلامت آبخیز شازند طی دوره مطالعاتی بود. Hall و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که می‌توان از تاب‌آوری برای هدایت برنامه‌ریزی راهبردی سامانه‌های منابع آب در مقیاس ملی و ارزیابی عملکرد این سامانه‌ها در شرایط متغیر استفاده کرد. ایشان در این پژوهش از ابزارهای شبیه‌سازی (شرایط اقلیمی و خشکسالی، هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی، مصارف آب، سود و هزینه مداخلات برای دستیابی به تاب‌آوری) برای ارزیابی تاب‌آوری سامانه منابع آب انگلیس تحت تأثیر فشارهای اقلیمی و جمعیتی استفاده کردند. در پژوهشی دیگر Chamani و همکاران (۲۰۲۱)

3. Reliability-Resilience-Vulnerability  
4. Standardized Precipitation Index

1. Restoration  
2. Viability

همچنین نتایج ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی نشان داد که زیرآبخیزهای ۱۱ و ۱ به ترتیب کمترین و بیشترین اندازه شاخص کیفیت بوم‌شناختی را داشتند. اخیراً نیز Wang و همکاران (۲۰۲۴) به ارزیابی آستانه تاب‌آوری حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های خشک داخلی واقع در شمال غربی چین پرداختند. در این پژوهش از عوامل هواشناسی، هیدرولوژیک و بوم‌شناختی برای بررسی الگوهای مکانی و زمانی تاب‌آوری و عوامل محرک مهم در آبخیز رودخانه Hotan از ترکیب تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و مدل جنگل تصادفی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تاب‌آوری کلی آبخیز رودخانه Hotan پایین است و از بالادست به سمت میانی و پایین دست کاهش می‌یابد و شدت فعالیت‌های انسانی تأثیر منفی بر تاب‌آوری دارد. همچنین رودخانه‌ها پس از تجربه دوره‌هایی از شرایط مرطوب و خشک به حداکثر تاب‌آوری می‌رسند. بررسی سایر پیشینه‌های پژوهشی در زمینه‌های مختلف مرتبط نیز نشان می‌دهد که تاکنون پژوهش خاصی در ارتباط با ارزیابی زیستایی آبخیز در جهان انجام و یا مستند نشده است.

حوزه آبخیز شازند با توجه به شرایط اقلیمی و بارش از دیربگام قطب کشاورزی محسوب می‌شده است. اما بر مبنای تحولات توسعه‌ای از اواسط دهه ۱۳۷۰ از نظر صنعتی جایگاه خاصی پیدا کرده و صنایع مهمی مانند پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه حرارتی در آن مستقر شده است. از سوی دیگر با وجود محرک‌هایی مانند حفظ و گسترش بخش کشاورزی و جلوگیری از مهاجرت روستائیان به شهرها، بهره‌برداری غیراصولی از منابع خاک و آب شدت گرفته و

پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری حوزه آبخیز چالوس مبتنی بر شاخص خشکسالی در دوره (۲۰۱۷-۱۹۸۶) را با مدل  $ReIResV_{ul}$  ارزیابی نمودند. در این پژوهش، شاخص‌های  $ReI$ ،  $Res$  و  $V_{ul}$  به ترتیب ۰/۵، ۰/۲۳ تا ۰/۶۳ و ۰/۰۶ تا یک را به خود اختصاص داده است. شاخص سلامت با درجه متوسط ۰/۴۵ بین ۰/۱۹ تا ۰/۵۸ متغیر بوده است.

همچنین Mircholi و همکاران (۲۰۲۱) با ارزیابی پایداری حوزه آبخیز شازند نشان دادند که ۷۵ درصد از زیرآبخیزهای واقع در غرب، مرکز و شمال شرقی آبخیز در سال ۱۹۸۶ نسبتاً ناپایدار و در سال ۱۹۹۸ زیرآبخیزهای با شرایط متوسط و پایدار کاهش و مساحت طبقه نسبتاً ناپایدار افزایش یافته و به حدود ۸۳ درصد رسیده است. در سال ۲۰۰۸ تنها زیرآبخیزهای ۲، ۱۴ و ۲۴ در طبقه متوسط و پایدار قرار داشتند. در سال ۲۰۱۶ حدود ۷۵ درصد از زیرآبخیزها در وضعیت نسبتاً ناپایدار بوده‌اند. White و همکاران (۲۰۲۲) نیز در پژوهشی به ارزیابی پایداری بوم‌سازگانی در جزیره Ireland با استفاده از چهار ویژگی تغییرپذیری، میزان ناهنجاری‌های شدید، زمان بهبود و میزان بهبود پرداختند. نتایج حاکی از آن بود تغییرات آب‌وهوایی شدید باعث ناپایداری بوم‌سازگان می‌شود و ناهمگونی پوشش گیاهی هیچ تأثیری بر پایداری نداشته است. هم‌چنین Hazbavi و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر در استان اردبیل پرداختند. طبق این پژوهش تغییرپذیری بسیار زیاد متغیرهای استفاده‌شده در سطح کل آبخیز تأیید شد. براساس روش وزن‌دهی (PPM)<sup>۲</sup>، شاخص نسبت پوشش گیاهی بیشترین اهمیت و شاخص‌های رطوبت و نگهداشت رواناب کمترین اهمیت را داشتند.

ارتفاعی ۱۸۲۰ تا ۳۳۰۰ متر، متوسط بارندگی سالانه ۴۲۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد و یکی از زیرآبخیزهای دریاچه نمک انجام شد. رودخانه خروجی آبخیز با دبی متوسط ۳/۸۶ مترمکعب بر ثانیه، در پایین‌دست پس از ادغام با سرشاخه‌های اصلی رودخانه قره‌چای در استان همدان، درنهایت به سد الغدير ساوه منتهی می‌شود. بر اساس روش آمبرژه، اقلیم این منطقه در طبقه نیمه‌خشک معتدل تا نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد (Davudirad et al., 2016). نمایی از موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شازند در شکل ۱ نشان داده شده است.

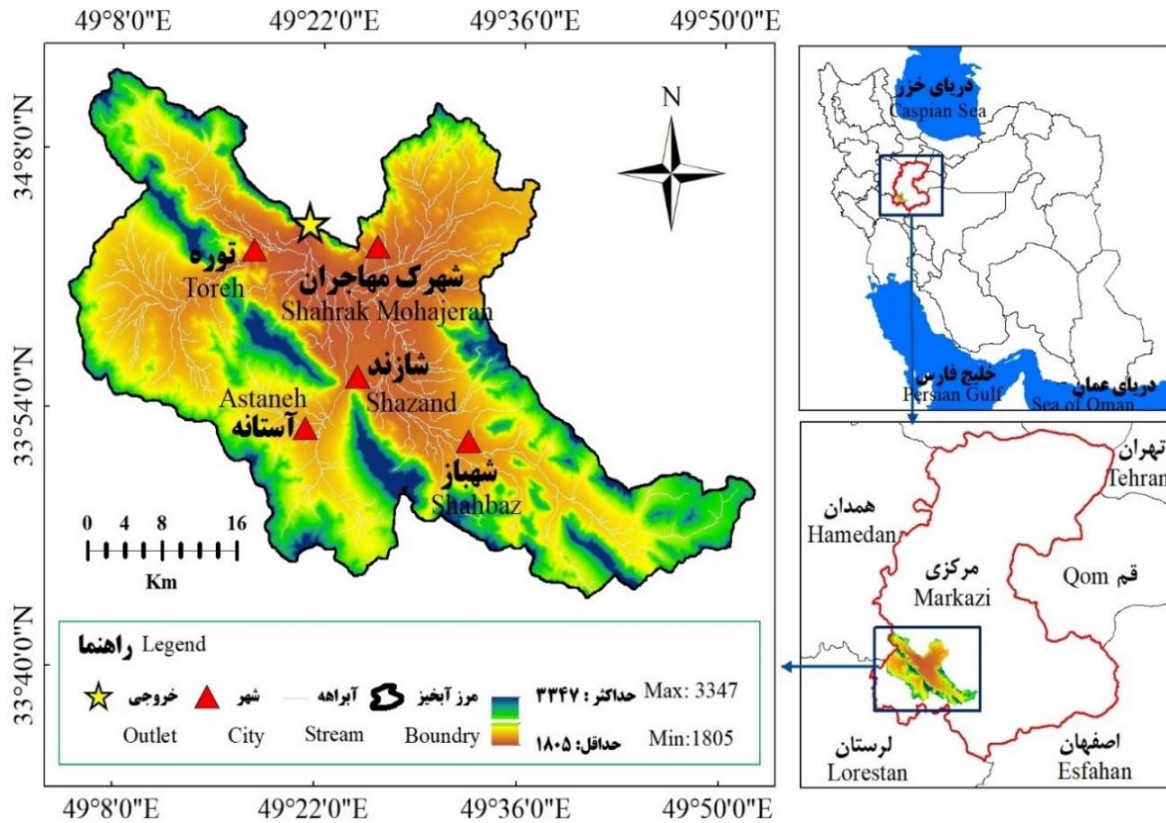
**محاسبه متغیرهای اقلیمی زیستایی:** برای ارزیابی زیستایی اقلیمی حوزه آبخیز شازند، از متغیرهای مربوطه طبق نمودار جریان پژوهش در شکل ۲ استفاده شد. به این منظور در ابتدا متغیرهای انتخابی اولیه در شرایط فعلی حوزه آبخیز محاسبه و نرمال‌سازی شدند. داده‌های اقلیمی از جمله دمای سالانه، بارندگی متوسط، تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه و نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارندگی سالانه از شرکت تحقیقات منابع آب ایران استفاده شد. لازم به ذکر است تا حد امکان سعی شده است برای برآورد متغیرها از جمله متغیرهای اقلیمی از میانگین بلندمدت متغیرها با طول دوره زمانی یکسان به سبب موجودیت داده‌ها از سال‌های آماری (۱۳۹۷-۱۳۷۶) استفاده شود. همچنین با توجه به هدف پژوهش مبنی بر ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز با تکیه بر آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی، ارزیابی تغییرات پویایی متغیرها برای برآورد آستانه‌های مذکور مدنظر قرار گرفته است.

شرایط آسیب‌پذیری بیشتر منطقه را فراهم کرده است. حال آن‌که جایگاه آن از حیث توانمندی در قرارگیری در آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار نگرفته است. با مشخص شدن آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرها و مقایسه آن با شرایط فعلی می‌توان با اولویت‌بندی، زیرآبخیزی را برای اقدامات فوری مدیریتی انتخاب کرد که وضعیت آن نزدیک آستانه رهاسازی بوده و از آستانه تاب‌آوری دور است. منظور از رهاسازی، عبور از آستانه توان سامانه آبخیز در بازیابی و قرارگیری در آستانه تاب‌آوری است که به نوعی تخریب نهایی سامانه آبخیز را نشان می‌دهد. بر همین اساس شناسایی آستانه رهاسازی و یا آستانه نهایی زیستایی آبخیز در شناسایی نقاط داغ<sup>۲</sup> خطر بسیار حائز اهمیت است و ضرورت توجه مدیریتی و سیاست‌گذاری در آبخیزداری را معطوف خود می‌کند. طبیعتاً با انجام اقدامات مدیریتی متناسب و کارآمد می‌توان وضعیت زیرآبخیز مذکور را به آستانه تاب‌آوری نزدیک کرد و از رهاسازی سامانه جلوگیری کرد. از این رو اولین مطالعه پیشگام پیش‌رو، باهدف ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی برنامه‌ریزی شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در حوزه آبخیز شازند با مساحت ۱۷۴۰ کیلومتر مربع، مختصات جغرافیایی ۴۹°۴۱'۱۵" تا ۴۹°۵۲'۱۲" طول شرقی و ۳۳°۴۴'۴۲" تا ۳۴°۱۲'۱۳" عرض شمالی، دامنه

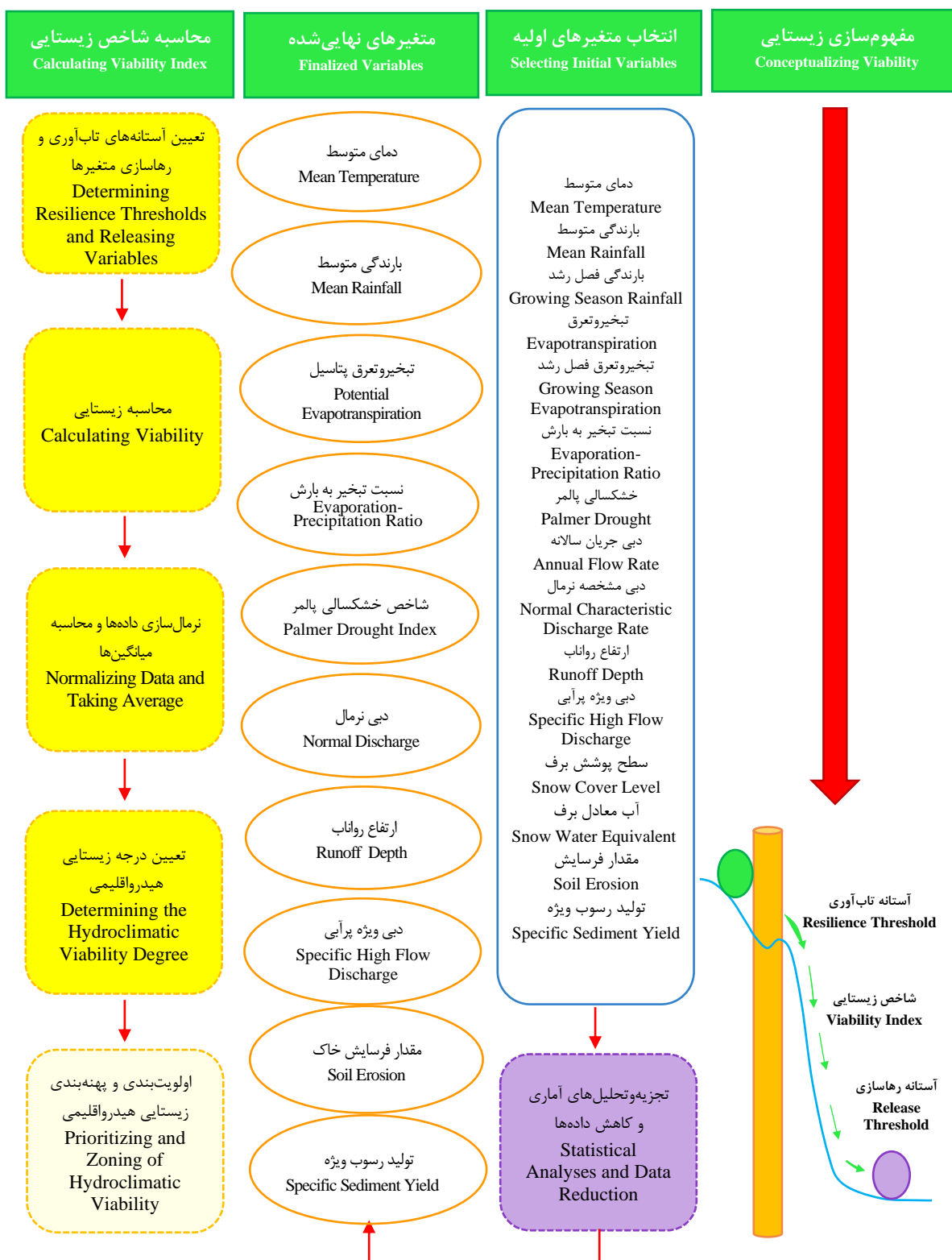


شکل ۱- نمایی از موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شازند در کشور و استان مرکزی

Figure 1- A view of the Geographical Location of the Shazand Watershed in the Country and Markazi Province, Iran

استفاده شد. حداقل حدود اطمینان، نشان‌دهنده کمترین مقداری است که احتمال دارد در شرایط خاص آبخیز اتفاق بیافتد، به‌عنوان محدوده رهاسازی که بعد از آن آبخیز به اصطلاح رها می‌شود و کمترین مقدار متغیرها در طول دوره مطالعاتی به‌عنوان آستانه تاب‌آوری انتخاب شده است. سپس اعداد به‌دست‌آمده با استفاده از درون‌یابی روش معکوس وزنی فاصله در محیط نرم‌افزار ArcMap به سطح زیرآبخیز تعمیم داده شد. برای متغیر شاخص خشکسالی با توجه به منطقه مورد مطالعه شاخص خشکسالی Palmer (Hejabi *et al.*, 2018) در نظر گرفته شد.

در ادامه تجزیه و تحلیل‌های آماری روی مقادیر نرمال‌شده صورت گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که برخی متغیرهای اقلیمی با عامل تورم واریانس<sup>۱</sup> بالای ۱۰ بوده است و لذا به سبب خودهمبستگی از فهرست متغیرهای ارزیابی زیستایی حذف شدند. از آماره Durbin-Watson برای متغیرهای باقی‌مانده و در بازه مطلوب بین ۱/۵ تا ۲/۵ استفاده شد (Sadeghi *et al.*, 2019a; 1992). برای محاسبه آستانه تاب‌آوری و رهاسازی متغیرهای شاخص اقلیمی ذکرشده از حدود اطمینان ده درصد (Solaimani Sardoo & Broumand, 2019)



شکل ۲- نمودار جریان پژوهش برای بهینه‌بندی زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز

Figure 2- Research Flowchart for Hydroclimatic Viability Zonation of the Watershed

قدرت پردازش بالا (Khan & Gilani, 2021) استخراج و برای زیرآبخیزهای ۲۴گانه حوزه آبخیز شازند تعمیم داده شد.

شاخص خشکسالی Palmer حاصل داده‌های Idaho به صورت ماهانه برای دوره زمانی (۲۰۰۰-۲۰۲۲) با استفاده از نرم‌افزار Google Earth Engine به دلیل

رهاسازی به‌دست‌آمده از روش درون‌یابی در محیط نرم‌افزار ArcMap به سطح زیرآبخیز تعمیم داده شد. دبی ویژه پربابی نیز از تقسیم دبی پربابی (به سبب موجودیت داده) بر مساحت زیرآبخیز مربوطه محاسبه شد. همچنین برای برآورد آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی مقدار فرسایش در ابتدا تغییرات زمانی بلندمدت پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی<sup>۲</sup> (NDVI) در سامانه Google Earth Engine برآورد شد. سپس میانگین و کمینه پوشش گیاهی در آبخیز مطالعاتی استخراج و میزان میانگین و بیشینه فرسایش خاک با توجه به تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از رابطه جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک<sup>۳</sup> (Renard *et al.*, 1997) محاسبه شد. برای برآورد عامل فرساینده‌گی باران نیز از روش Roose (۱۹۹۷) و از نتایج پژوهش Kiani Harchegani و همکاران (۲۰۱۹) نیز برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد. از سوی دیگر عامل توپوگرافی با استفاده از روش Desmet و Govers محاسبه شد (Desmet & Govers, 1996); Mirchooli *et al.*, 2022). عامل پوشش گیاهی نیز با استفاده از میانگین شاخص NDVI در ماه‌های بارشی برآورد شد. عامل مدیریت اراضی نیز با استفاده از روش پیشنهادی Troeh و همکاران (۱۹۹۹) به‌دست آمد. رسوب ویژه با استفاده از جایگذاری میانگین و بیشینه مقدار فرسایش به‌دست‌آمده در رابطه رسوب ویژه محاسبه شد (Silabi *et al.*, 2023).

**محاسبه شاخص زیستایی هیدرواقليمی:** پس از تعیین آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرهای مشروحه، شاخص زیستایی هیدرواقليمی با توجه به رابطه‌های (۲) و (۳) به‌ترتیب برای متغیرهای دارای سهم مثبت و منفی به‌دست آمد.

$$VI = \frac{CC - T_{rel}}{CC - T_{res}} \quad (2)$$

**محاسبه متغیرهای هیدرولوژی زیستایی:** برای محاسبه متغیرهای هیدرولوژی ابتدا برای متغیر دبی مشخصه نرمال، از مقادیر دبی روزانه متناسب با موجودیت داده‌ها و منحنی تداوم جریان<sup>۱</sup> (Sadeghi *et al.*, 2018) استفاده شد. برای تخمین دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در خروجی هر یک از زیرآبخیزها، ابتدا داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری پل دوآب واقع در نقطه خروجی آبخیز شازند از سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی دریافت و از منحنی تداوم جریان مقادیر دبی کم‌آبی (۲۷۴ روز از سال دبی مساوی یا بیش‌تر از آن) و دبی نرمال (۱۸۲ روز از سال دبی مساوی و یا بیش‌تر از آن) از داده‌های روزانه دبی استخراج شدند (Mahdavi, 2001).

سپس با توجه به عدم تجهیز زیرآبخیزهای مطالعاتی به ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برای تعیین آستانه دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در مقیاس زیرآبخیزهای مطالعاتی، از ضرب ضریب اصلاحی (RC) محاسبه شده از رابطه (۱) در مقدار آستانه‌های تعیین‌شده برای تمام زیرآبخیزها استفاده شد.

$$RC = \left[ \prod_{i=1}^2 \frac{A_i}{A_t} * \frac{R_{ci}}{R_{ct}} \right]^{0.5} \quad (1)$$

که در آن،  $A_i$ ،  $A_t$ ،  $R_{ci}$  و  $R_{ct}$  به‌ترتیب بیان‌گر مساحت زیرآبخیز، مساحت کل، ضریب رواناب تهیه شده در واحد زیرآبخیز و ضریب رواناب کل هستند.

برای محاسبه ضریب رواناب از ابزار ArcCN-Runoff استفاده شد (Sadeghi *et al.*, 2018); Hoseinzadeh *et al.*, 2019). برای محاسبه ارتفاع رواناب ناشی از بارش ۲۴ ساعته از روش SCS (Hejazi & Mezbani, 2016) و برای تعیین آستانه تاب‌آوری و رهاسازی این متغیر به دلیل وابستگی آن به تغییرات بارش ۲۴ ساعته از حدود اطمینان داده‌های مربوطه در سطح اطمینان ده درصد استفاده شد. سپس آستانه‌های تاب‌آوری و

3. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

1. Flow Duration Curve (FDC)

2. Normalized Difference Vegetation Index

مقایسه با سایر زیرآبخیزها به آستانه رهاسازی در مجموع متغیرهای مطالعاتی، نزدیک بوده و از آستانه تاب‌آوری دور است. همچنین زیرآبخیزی که عدد زیستایی بالاتری نیز داشته باشد حاکی از آن است که با توجه به وضعیت هیدرواقليمی آن در درازمدت تغییرات کم‌تری از لحاظ هیدرواقليمی در آن زیرآبخیز در مقایسه با سایر زیرآبخیزها صورت پذیرفته است.

#### اولویت‌بندی زیستایی اقلیمی آبخیز شازند:

نتایج حاصل از مدل‌سازی و پهنه‌بندی زیستایی اقلیمی آبخیز شازند و منتج از جدول ۱، در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد زیرآبخیز ۷ با اولویت بالا در حالت‌های شرایط فعلی، تاب‌آوری، رهاسازی به‌ترتیب با اولویت‌های ۱، ۵ و ۱ قرار دارد، اما با توجه به اولویت‌بندی زیستایی اقلیمی اولویت ۱۱ را به خود اختصاص داده است.

#### اولویت‌بندی زیستایی هیدرولوژی آبخیز

شازند: نتایج حاصل از مدل‌سازی و پهنه‌بندی زیستایی هیدرولوژی آبخیز شازند و منتج از جدول ۱، در شکل ۳ ارائه شده است. تحلیل نتایج حاکی از آن است که زیستایی هیدرولوژی زیرآبخیزهای ۵، ۴، ۲۲، ۶ و ۷ در مقایسه با سایر زیرآبخیزهای مطالعاتی بالاست. به‌بیان‌دیگر زیرآبخیزهای مذکور ضمن دارا بودن زیستایی بالا از شرایط بحرانی در مقایسه با غالب زیرآبخیزها فاصله زیادی دارند. بر همین اساس در اولویت‌های آخر برای انجام اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرند. از سوی دیگر بررسی نتایج حاصل از زیستایی آبخیزهای مطالعاتی نشان داد که زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۱۱، ۲۱ و ۱۵ به‌ترتیب با اولویت ۱ تا ۵ به‌عنوان زیرآبخیزهای با اولویت بالا برای انجام اقدامات مدیریتی شناسایی شدند. به‌طور مثال زیرآبخیز ۲۰ با اولویت ۲ در زیستایی هیدرولوژی دارای اولویت بالا از لحاظ تاب‌آوری و رهاسازی است اما در شرایط فعلی آبخیز از وضعیت بهتری برخوردار بوده و اولویت ۲۰ را به خود اختصاص داده است.

$$VI = \frac{T_{rel} - CC}{T_{res} - CC} \quad (3)$$

که در آن  $VI$ ،  $CC$ ،  $T_{res}$  و  $T_{rel}$  به‌ترتیب شاخص زیستایی، شرایط فعلی، آستانه تاب‌آوری و آستانه رهاسازی است. با توجه به تفاوت در واحدها و بزرگی متغیرها، تمام داده‌های ورودی برای متغیرهای دارای سهم مثبت و منفی نرمال‌سازی شدند (Sadeghi et al., 2019a; Loucks, 1997). قابل ذکر است در این پژوهش وزن همه متغیرها یکسان در نظر گرفته شده است. سپس با محاسبه میانگین هندسی، درجه زیستایی هیدرواقليمی هر زیرآبخیز تعیین شد. در نهایت درجه زیستایی نهایی حاصل از میانگین وزنی هر زیرآبخیز به‌صورت بسیار بالا ( $>0/80$ )، بالا ( $0/70$  تا  $0/80$ )، متوسط ( $0/55$ ) تا  $0/70$ )، پایین ( $0/40$  تا  $0/55$ ) و بسیار پایین ( $<0/40$ ) انجام گرفت.

#### برآورد درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی:

برای محاسبه درصد مشارکت متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی در ابتدا در محیط نرم‌افزار SPSS ضرایب Beta برای هر یک از متغیرها تعیین و سپس مجموع ضرایب محاسبه و در ادامه مقادیر هر یک از متغیرها در مجموع ضرایب تقسیم و در ۱۰۰ ضرب شد (Sadeghi et al., 2022).

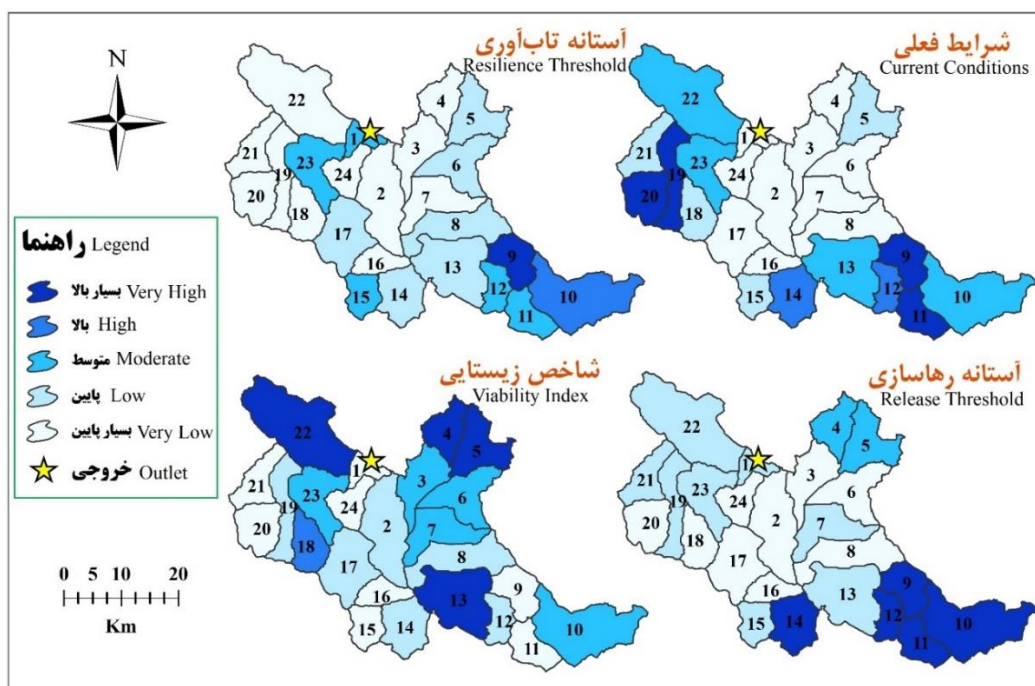
#### نتایج

برای برآورد آستانه‌های تاب‌آور و رهاسازی متغیرهای مطالعاتی تا حد امکان سعی شده است تغییرات پویایی آن‌ها در درازمدت مدنظر قرار گیرد و با تکیه بر آن زیستایی زیرآبخیزها محاسبه شود. در نتیجه این رویه به صورت یکسان برای تمامی زیرآبخیزها انجام شده است و طبیعتاً زیرآبخیزی که عدد زیستایی کمتری داشته باشد نشان از آن است که با توجه به تغییرات درازمدت هیدرواقليمی در آن زیرآبخیز، وضعیت آن در

جدول ۱- مقایسه و اولویت‌بندی شاخص زیستایی هیدرواقليمی با لحاظ شرایط فعلی، آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Table 1- Comparison and Prioritization of Hydroclimatic Viability Index Considering Current Conditions, Resilience Thresholds, and Release of Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

هیدرواقليمی Hydroclimatic						هیدرولوژی Hydrology						اقليمی Climatic						شاخص Index						
اولویت Priority	زیستایی Viability	اولویت Priority	رهاسازی Release	اولویت Priority	تاب‌آوری Resilience	اولویت Priority	فعلی Current	اولویت Priority	زیستایی Viability	اولویت Priority	رهاسازی Release	اولویت Priority	تاب‌آوری Resilience	اولویت Priority	فعلی Current	اولویت Priority	زیستایی Viability	اولویت Priority	رهاسازی Release	اولویت Priority	تاب‌آوری Resilience	اولویت Priority	فعلی Current	زیرآبخیز Sub-watershed
6	0.26	15	0.49	17	0.51	3	0.13	8	0.34	10	0.29	6	0.19	18	0.54	12	0.44	16	0.50	17	0.51	3	0.13	S1
13	0.53	2	0.22	7	0.27	5	0.16	14	0.60	23	0.92	20	0.84	16	0.50	6	0.34	2	0.21	6	0.26	5	0.16	S2
15	0.58	3	0.24	11	0.37	7	0.18	17	0.63	20	0.72	12	0.53	13	0.45	8	0.36	3	0.24	11	0.36	7	0.18	S3
22	0.85	19	0.66	6	0.27	2	0.07	23	0.82	1	0.00	11	0.48	2	0.05	13	0.46	19	0.67	7	0.26	2	0.08	S4
23	1.00	17	0.54	14	0.47	11	0.43	24	1.00	12	0.36	10	0.41	6	0.31	5	0.32	17	0.54	15	0.47	11	0.43	S5
19	0.66	5	0.30	12	0.43	4	0.13	21	0.69	21	0.73	14	0.55	15	0.49	10	0.39	5	0.29	12	0.42	4	0.13	S6
17	0.62	1	0.00	5	0.23	1	0.00	20	0.66	19	0.64	15	0.59	9	0.40	11	0.39	1	0.00	5	0.22	1	0.00	S7
12	0.51	4	0.27	15	0.47	8	0.31	15	0.60	11	0.34	17	0.71	1	0.00	3	0.28	4	0.28	14	0.46	9	0.33	S8
2	0.02	21	0.87	24	1.00	21	0.84	1	0.00	5	0.12	3	0.06	7	0.34	14	0.77	21	0.87	24	1.00	21	0.85	S9
16	0.60	22	0.90	23	0.72	16	0.60	19	0.65	24	1.00	23	0.96	21	0.61	9	0.37	22	0.88	23	0.70	16	0.60	S10
7	0.33	23	0.91	20	0.61	22	0.88	3	0.25	6	0.15	9	0.38	8	0.39	21	0.83	23	0.91	20	0.61	22	0.89	S11
9	0.43	24	1.00	21	0.64	20	0.72	7	0.33	14	0.44	13	0.55	19	0.56	19	0.82	24	1.00	21	0.63	20	0.72	S12
21	0.83	16	0.50	18	0.53	17	0.66	18	0.64	22	0.80	21	0.94	12	0.43	23	0.90	15	0.49	18	0.51	17	0.66	S13
10	0.43	20	0.70	13	0.45	19	0.71	9	0.35	18	0.60	16	0.64	22	0.79	16	0.79	20	0.70	13	0.44	19	0.70	S14
8	0.39	18	0.54	22	0.64	13	0.49	5	0.29	7	0.22	18	0.77	5	0.25	22	0.83	18	0.55	22	0.63	13	0.50	S15
5	0.23	9	0.36	9	0.28	10	0.40	11	0.41	15	0.49	19	0.78	24	1.00	2	0.17	8	0.36	8	0.26	10	0.38	S16
14	0.53	7	0.34	16	0.49	9	0.32	16	0.62	17	0.59	7	0.23	10	0.42	4	0.29	7	0.34	16	0.48	8	0.32	S17
20	0.75	6	0.32	3	0.16	12	0.49	12	0.53	2	0.00	22	0.96	3	0.12	24	1.00	6	0.34	3	0.14	12	0.50	S18
11	0.47	13	0.43	10	0.31	24	1.00	10	0.37	16	0.52	5	0.17	23	0.79	18	0.81	13	0.43	10	0.31	23	1.00	S19
3	0.18	10	0.39	8	0.28	23	1.00	2	0.12	8	0.24	4	0.08	20	0.60	20	0.83	10	0.40	9	0.28	24	1.00	S20
1	0.00	11	0.40	2	0.01	14	0.53	4	0.28	4	0.07	2	0.03	17	0.50	1	0.00	11	0.42	2	0.02	14	0.53	S21
24	1.00	14	0.44	1	0.00	18	0.67	22	0.82	13	0.39	8	0.26	14	0.45	17	0.80	14	0.44	1	0.00	18	0.68	S22
18	0.65	12	0.41	19	0.58	15	0.56	13	0.53	3	0.06	24	1.00	4	0.16	15	0.78	12	0.42	19	0.56	15	0.58	S23
4	0.21	8	0.36	4	0.18	6	0.17	6	0.33	9	0.27	1	0.00	11	0.42	7	0.34	9	0.37	4	0.19	6	0.17	S24



شکل ۳- پهنه‌بندی شرایط فعلی، آستانه تاب‌آوری، آستانه رهاسازی و شاخص زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Figure 3- Zoning of Current Conditions, Resilience Threshold, Release Threshold and Hydroclimatic Viability Index of the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

تحلیل مقایسه‌ای درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی در زیستایی زیرآبخیزها: با توجه به نتایج درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی در زیرآبخیزهای مختلف ارائه شده در جدول ۲، بیشترین سهم مشارکت متغیرهای اقلیمی در زیرآبخیزها مختص به زیرآبخیز ۲۲ (با مشارکت ۱۰/۸۰ درصد)، زیرآبخیز ۱۰ (با مشارکت ۷/۹۱ درصد)، زیرآبخیز ۱۳ (با مشارکت ۶/۹۹ درصد) و زیرآبخیز ۲ (با مشارکت ۶/۹۲ درصد) بوده است. درحالی‌که زیرآبخیز ۱ (با مشارکت ۱/۳۰ درصد) دارای حداقل ارزش در بین تمامی زیرآبخیزها بوده است. متغیرهای هیدرولوژی نیز در زیرآبخیز ۱۰ (با مشارکت ۹/۴۲ درصد) و زیرآبخیز ۲۲ (با مشارکت ۸/۹۱ درصد) بیشترین سهم مشارکت را داشته‌اند. از لحاظ بررسی سهم مشارکت متغیرهای مورد ارزیابی شاخص هیدرواقليمی مندرج در شکل ۴ متغیر دمای سالانه (با مشارکت ۱۴ درصد)، میزان فرسایش (با مشارکت ۱۳/۹ درصد) و رسوب ویژه (با مشارکت ۱۳/۵ درصد) و دبی مشخصه نرمال (با مشارکت ۱۰/۶ درصد) بالاترین سهم مشارکت متغیرها را به خود اختصاص داده است

اولویت‌بندی زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند: با توجه به بررسی اولویت‌بندی زیرآبخیزهای ۲۴ گانه حوزه آبخیز شازند، شرایط فعلی زیرآبخیز ۴ به‌گونه‌ای است که در اولویت ۲ قرار گرفته، اما از لحاظ حالت رهاسازی و زیستایی به ترتیب در اولویت‌های ۱۹ و ۲۲ است. پس این‌گونه می‌توان استنباط کرد زیرآبخیز ۴ از تغییرپذیری بیشتری در طول زمان نسبت به سایر زیرآبخیزها برخوردار است. بنابراین بررسی شرایط فعلی با توجه به پویایی متغیرها به‌تنهایی نتایج قابل قبولی را ارائه نمی‌دهد و بررسی تغییرپذیری متغیرها در حالت تاب‌آور و رهاسازی و فاصله آن‌ها با شرایط فعلی آبخیزها حائز اهمیت است. برای مثال، به‌جای انجام اقدامات مدیریتی در زیرآبخیز ۷ با اولویت بالا در حالت شرایط فعلی، توجه به زیرآبخیز ۲۱ به سبب قرارگیری در اولویت‌های به ترتیب ۱، ۴ و ۱ از نظر زیستایی اقلیمی، هیدرولوژی و هیدرواقليمی ضروری است. از دیگر آبخیزهای دارای اولویت بالا می‌توان به زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۲۴، ۱۶، ۱، ۱۱ و ۱۵ اشاره کرد.

جدول ۲- درصد مشارکت زیرآبخیزها و متغیرهای مورداستفاده در زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Table 2- Sub-watershed Contribution and Variables used in Hydroclimatic Viability of the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

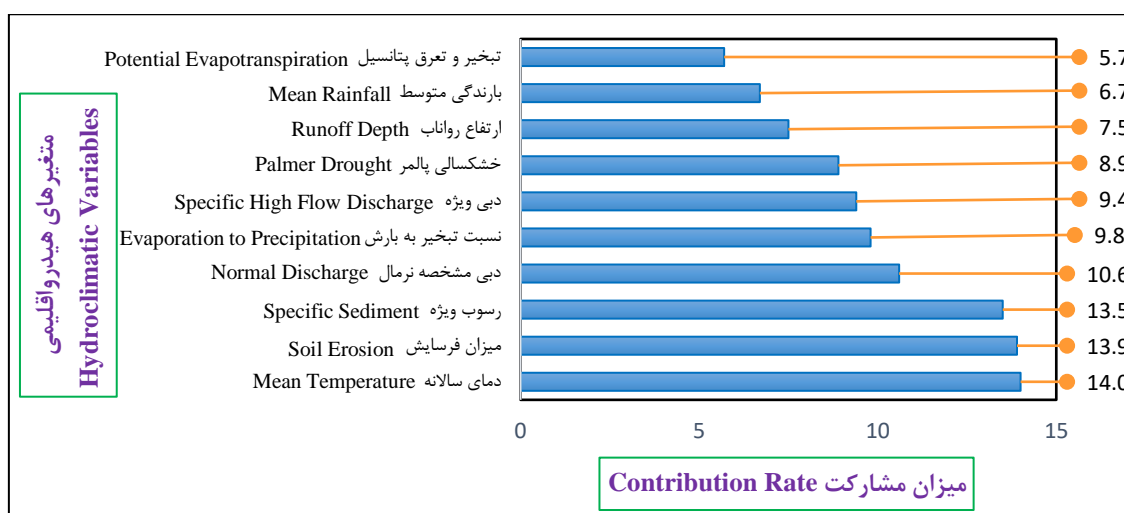
هیدرواقليمی Hydroclimatic		هیدرولوژی Hydrology					اقليمی Climatic					شاخص Index	
درصد مشارکت هیدرواقليمی Hydroclimatic Contribution (%)	درصد مشارکت هیدرولوژی Hydrologic Contribution (%)	رسوب ویژه Specific Sediment (t km <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	فرسایش خاک Soil Erosion (t km <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	دبی ویژه پرابی Specific High Flow (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	ارتفاع رواناب Runoff Depth (mm)	دبی نرمال Normal Discharge (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	درصد مشارکت اقليمی Contribution (%)	خشک‌سالی پالمر Palmer Drought	نسبت تبخیر و تعرق به بارش Evapotranspiration to Precipitation	تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)	بارندگی متوسط Mean Rainfall (mm)	دمای سالانه Annual Temperature (°C)	متغیر Variable زیر آبخیز Sub- watershed
1.34	1.37	0.97	0.97	0.86	0.58	0.63	1.30	0.61	0.84	0.44	0.36	0.89	S1
7.36	7.72	1.00	1.00	0.67	0.61	1.00	6.92	0.58	0.77	0.58	0.36	0.90	S2
4.33	4.51	0.96	0.96	0.71	0.65	0.87	4.12	0.59	0.81	0.61	0.25	0.89	S3
2.12	1.49	0.13	0.13	0.78	0.00	0.76	2.88	0.61	0.97	0.32	0.12	0.88	S4
3.92	4.06	0.74	0.74	0.17	1.00	0.84	3.75	0.51	1.00	0.26	0.00	0.90	S5
4.71	4.91	0.92	0.92	0.65	0.66	0.87	4.46	0.60	0.77	0.54	0.23	0.89	S6
4.84	4.83	0.98	0.98	0.58	0.66	0.94	4.84	0.57	0.69	1.00	0.30	0.88	S7
4.96	5.00	0.98	0.98	0.78	0.01	0.81	4.91	0.53	0.52	0.40	0.56	0.90	S8
2.58	2.51	0.32	0.32	1.00	0.65	0.65	2.66	0.72	0.00	0.00	0.99	0.88	S9
8.74	9.42	0.96	0.96	0.66	0.60	0.90	7.91	0.59	0.74	0.15	0.47	0.90	S10
2.83	2.94	0.89	0.89	0.91	0.68	0.60	2.69	0.73	0.42	0.08	0.88	0.89	S11
2.12	2.18	0.97	0.97	0.88	0.69	0.42	2.04	0.94	0.22	0.02	1.00	0.88	S12
7.63	8.15	0.97	0.97	0.72	0.75	0.94	6.99	0.79	0.39	0.18	0.83	0.91	S13
4.00	4.12	0.97	0.97	0.86	0.55	0.52	3.85	0.73	0.66	0.14	0.59	0.88	S14
1.98	1.57	0.99	0.99	0.00	0.23	0.36	2.48	1.00	0.73	0.25	0.51	0.88	S15
1.69	1.79	0.97	0.97	0.84	0.53	0.00	1.57	0.00	0.83	0.34	0.33	0.91	S16
5.54	5.96	0.98	0.98	0.68	0.60	0.86	5.03	0.38	0.78	0.41	0.42	0.89	S17
3.23	3.06	0.98	0.98	0.77	0.42	0.65	3.45	0.90	0.87	0.41	0.38	1.00	S18
3.60	3.54	0.97	0.97	0.87	0.49	0.52	3.67	0.68	0.89	0.41	0.40	0.91	S19
2.82	1.99	0.00	0.00	0.88	0.49	0.71	3.83	0.68	0.89	0.42	0.42	0.92	S20
2.70	2.92	0.81	0.81	0.86	0.50	0.63	2.44	0.76	0.89	0.43	0.43	0.00	S21
9.77	8.91	0.64	0.64	0.49	0.52	0.92	10.80	0.68	0.96	0.40	0.29	0.91	S22
4.42	4.13	0.96	0.96	0.77	0.42	0.32	4.77	0.73	0.87	0.43	0.38	0.88	S23
2.80	2.93	0.97	0.97	0.89	0.57	0.88	2.64	0.59	0.79	0.47	0.43	0.91	S24

گرفتن تنها آستانه رهاسازی، زیرآبخیز ۷ و ۲ جز آبخیزهایی با اولویت اول و دوم برای انجام اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرند، با این حال بررسی نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرآبخیزها با استفاده از روش زیستایی کاملاً متفاوت با سه روش برآوردی است. تحلیل نتایج اولویت‌بندی حاصل از روش ارزیابی زیستایی اقلیمی نشان داد که زیرآبخیز ۲۱ با اولویت یک بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. در صورتی که با توجه به بررسی حالت‌های فعلی و رهاسازی در اولویت‌های میانی قرار دارد.

**ارزیابی و پهنه‌بندی شاخص زیستایی هیدرواقليمی:** به‌طور کلی پهنه‌بندی زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند در وضعیت متوسط با مقدار عددی ۰/۵۸ است. پراکنش مکانی درجه زیستایی ارائه شده در شکل ۳ نیز نشان داد که مناطق مرکزی حوزه آبخیز شازند زیستایی هیدرواقليمی پایینی نسبت به سایر مناطق حوزه آبخیز داشته است.

### بحث

**اولویت‌بندی زیستایی اقلیمی آبخیز شازند:** براساس روش‌های معمول اولویت‌بندی از جمله در نظر



شکل ۴- مشارکت متغیرهای زیستایی هیدرواقليمی حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

Figure 4- Contribution of Hydroclimatic Variables to the Viability of the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran

با این‌که از لحاظ فعلی دارای شرایط خوبی است، اما از لحاظ تاب‌آوری و رهاسازی در طول زمان از وضعیت خوبی برخوردار نبوده و در طول زمان تغییرات هیدرولوژی زیادی را متحمل شده است و احتمال عبور از محدوده رهاسازی در این زیرآبخیز به دلیل زیستایی پایین آن بالاست.

**اولویت‌بندی زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند:** زیرآبخیزهای ۹، ۲۰، ۲۴، ۱۶، ۱، ۱۱ و ۱۵ و به‌خصوص زیرآبخیز ۹، ۲۰، ۱۱ (شکل ۳) در شرایط فعلی در شرایط وضعیتی خوبی قرار دارند ولی از لحاظ زیستایی

پس می‌توان گفت زیرآبخیز ۲۱ با توجه به تعریف زیستایی زیرآبخیزی است که فاصله بیشتری از آستانه تاب‌آوری نسبت به زیرآبخیزهای دیگر دارد و به آستانه رهاسازی نزدیک و نیازمند توجه فوری است تا از رهاسازی آن جلوگیری به عمل آید. در این راستا، از اقدامات مدیریتی می‌توان به سازگار کردن مردم با تغییرات اقلیمی، استفاده از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران و ذخیره آب در مواقع سیلاب اشاره کرد.

**اولویت‌بندی زیستایی هیدرولوژی آبخیز شازند:** توجه به اولویت‌بندی زیستایی هیدرولوژی زیرآبخیز ۲۰

متغیرهای مورد ارزیابی را داشته است. بر طبق پژوهش‌های Davudirad و همکاران (۲۰۱۶) و Hazbavi و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز شازند نیز بارندگی متوسط به دلیل عدم تغییرات قابل توجه در طول دوره مورد مطالعه، عاملی با تأثیرپذیری پایین در بین متغیرها ارزیابی و گزارش شده است. همچنین از آنجایی که دبی مشخصه نرمال متغیری مهم در ارزیابی وضعیت هیدرولوژیک آبخیز است (Phillips *et al.*, 2016; Butchart-Kuhlmann *et al.*, 2018; Rouhani *et al.*, 2019)، تأثیر خود را در زیستایی هیدرواقليمی آبخیز شازند به خوبی نشان داده است. در همین ارتباط Kelly و همکاران (۲۰۱۸) با هدف ارزیابی سلامت رودخانه با استفاده از شاخص جامع زیستی بیان کردند که دبی مشخصه به عنوان یکی از متغیرهای ضروری در تبیین وضعیت هیدرولوژیک رودخانه به حساب می‌آید و نیز نمایانگر بهتری نسبت به سایر مؤلفه‌های دبی برای پژوهش آن‌ها بوده است.

**ارزیابی و پهنه‌بندی شاخص زیستایی هیدرواقليمی:** با توجه به نتایج این پژوهش مناطق مرکزی حوزه آبخیز شازند زیستایی هیدرواقليمی پایینی نسبت به سایر مناطق حوزه آبخیز داشته است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج مطالعه Sadeghi و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر وجود تخریب زیاد از لحاظ شاخص منطقه حساس محیطی در مناطق مرکزی آبخیز شازند مطابقت دارد. در همین ارتباط Ferrera و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند عوامل اقلیمی و متغیرهای خشکسالی، بارندگی متوسط کمترین تأثیر را بر روند تخریب زمین و فرسایش دارند و برخی یافته‌های ایشان با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت ندارد. شایان ذکر است تغییرات مکانی و زمانی پیچیده عوامل اقلیمی Hakimdoust و همکاران (۲۰۱۷) و به دنبال آن عدم ثبات شرایط حوزه آبخیز باعث افزایش عدم اطمینان در بهره‌برداری انسانی و به دنبال آن افزایش پتانسیل برای از دست دادن خدمات مختلف حوزه آبخیز می‌شود (Min *et al.*, 2011; Milly *et al.*, 2015).

بسیار پایین (تغییرپذیری بالا) هستند. همچنین زیرآبخیزهای ۲۲، ۵ و ۴ جزء زیرآبخیزهایی با زیستایی بالا (تغییرپذیری پایین) می‌باشند. نتایج پژوهش Mirchooli و همکاران (۲۰۲۱) نیز حاکی از آن بوده است که زیرآبخیزهای شمالی و شمال غربی از بین سایر زیرآبخیزها در طول زمان وضعیت ثابت داشته است. به طور کلی با ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی و توجه به زیرآبخیزهای اولویت‌دار می‌توان شرایط هیدرواقليمی را به صورت چشم‌گیری در مقایسه با سایر زیرآبخیزها تغییر داد و زیرآبخیزها را به حالت تاب‌آور نزدیک کرد و حالت تثبیت زیرآبخیزها را بهبود بخشید. برای ایجاد حالت تثبیت در زیرآبخیزها توجه به متغیرهایی با تغییرپذیری بالاتر نسبت به متغیرهای دیگر کمک‌کننده خواهد بود. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان به دبی مشخصه نرمال و میزان فرسایش به عنوان متغیرهای مؤثر اشاره کرد. یکی از دلایل اصلی این تغییرپذیری را می‌توان به گسترش صنایع مختلف در منطقه و تأثیرات آن بر رژیم هیدرولوژی نسبت داد. زیرا اثرات این تغییرپذیری در زیرآبخیزهای ۳، ۶ و ۷ واقع در مراکز صنعتی بیشتر مشهود است. در این راستا پژوهش Sadeghi و همکاران (۲۰۱۹) نیز حاکی از آن بود که قسمت‌های مرکزی به دلیل تمرکز صنایع مختلف از تغییرپذیری بالایی بر اساس متغیر دبی مشخصه نرمال برخوردار بوده است. از دیگر مطالعات در راستای تأیید نتایج (Newson *et al.*, 1997; Foushee, 2010; Phillips *et al.*, 2016; Hazbavi *et al.*, 2018) که به تغییرپذیری دبی و ارتفاع رواناب در اثر توسعه شهرنشینی و صنعتی پرداخته‌اند و تأکید بر اتخاذ اقدامات مدیریتی متناسب با رفتار آبخیز از تغییرپذیری میزان دبی و ارتفاع رواناب نموده‌اند.

**تحلیل مقایسه‌ای درصد مشارکت متغیرهای هیدرواقليمی در زیستایی زیرآبخیزها:** با توجه به نتایج درصد مشارکت، متغیرهای تبخیر و تعرق پتانسیل و بارندگی متوسط کمترین تأثیرگذاری در بین

این‌رو بررسی شرایط فعلی حوزه آبخیز به‌تنهایی نتایج قابل قبولی ارائه نخواهد داد و در مطالعات، لحاظ آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی برای مدیریت صحیح آبخیزها کمک‌کننده خواهد بود.

### نتیجه‌گیری کلی

مدیریت آبخیزها در مقابل مخاطرات نیاز به درک کامل از وضعیت و پویایی سامانه آبخیز در واکنش به تنش‌ها دارد. در این راستا رویکرد زیستایی و تحلیل متغیرهای مؤثر در آن در مقیاس حوزه آبخیز می‌تواند یکی از راهکارهای مؤثر برای نیل به این هدف باشد. بر اساس مشکلات بارز حوزه آبخیز شازند مطالعه حاضر برای ارزیابی زیستایی هیدرواقليمی با استفاده از سنجش شرایط فعلی، آستانه تاب‌آوری و رهاسازی انجام شد. در حال حاضر، برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها تقریباً اکثر پروژه‌ها بر اساس فرض ایستایی است، درحالی‌که نوسانات آب و هوایی و تشدید فعالیت‌های انسانی، ثابت بودن مجموعه‌های هواشناسی را تغییر داده است. از آنجایی‌که مدیران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی و محیط‌زیست به‌منظور تصمیم‌گیری مناسب در مدیریت عرصه‌های طبیعی، با توجه به میزان عدم قطعیت و

چگونگی و ظرفیت تأثیرپذیری سامانه‌های تحت مدیریت، با لحاظ رویکردهای جدید از جمله ارزیابی زیستایی می‌توانند در مدیریت بهتر نقش به‌سزایی داشته باشند. با توجه به نتایج این پژوهش با مشخص شدن آستانه‌های تاب‌آوری و رهاسازی متغیرها و مقایسه آن با شرایط فعلی می‌توان وضعیت زیرآبخیزهای بحرانی را به آستانه تاب‌آوری نزدیک و از رهاسازی سامانه جلوگیری کرد. همچنین به سبب پیچیدگی سامانه آبخیز و دخالت عوامل متعددی در عملکرد آن، ارزیابی جامع زیستایی آبخیز با لحاظ تمامی متغیرهای دخیل می‌تواند در مدیریت جامع حوزه آبخیز بسیار مؤثر باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه تربیت مدرس و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) در چارچوب طرح پژوهشی به شماره ۴۰۲۰۲۵۴ طی دوره دکتری نویسنده اول مقاله تشکر و قدردانی نمایند.

### References

- Amirnejad, H., Hosseini, S., & Saberi, M. (2021). The Role and Importance of Ecological, Economic, Technical and Social Criteria and Indicators to Reduce Flood Damage in Iran. *Environmental Researches*, 12(23), 233-244. (In Persian)
- Bahlekeh, M., & Sadeghi, S.H.R. (2023). Watershed Viability: Concept and Necessity. *Extension and Development of Watershed Management*, 11(40), 15-21. (In Persian)
- Balsalobre-Lorente, D., Abbas, J., He, C., Pilar L., & Shah, S.S.R. (2023). Tourism, urbanization and natural resources rents matter for environmental sustainability: The leading role of AI and ICT on sustainable development goals in the digital era. *Resources Policy*, 82, 103445. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103445>
- Butchart-Kuhlmann, D., Kralisch, S., Fleischer, M., Meinhardt M., & Brenning, A. (2018). Multicriteria decision analysis framework for hydrological decision support using environmental flow components. *Ecological Indicators*, 93, 470-480. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.057>
- Chai, L.H., & Lha, D. (2018). A New Approach of Deriving Indicators and Comprehensive Measure for Ecological Environmental Quality Assessment. *Ecological Indicators*, 85, 716-728. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.039>
- Chamani, R., Sadeghi, S.H.R., Vafakhah M., & Naghdi, M. (2022). Reliability, resilience and vulnerability of Chalous Watershed based on Drought Index. *Watershed Engineering and Management*, 14(1), 65-75. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.352600.1855> (In Persian)
- Chen, J., Yin S., & Yang, X. (2023). The impact of adaptive management on community resilience in arid rural areas facing environmental change: An integrated

- analytical framework. *Environmental Science & Policy*, 150, 103589. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103589>
- Davudirad, A.A., Sadeghi, S.H., & Sadoddin, A. (2016). The impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed, Iran. *Land Degradation & Development*, 1236-1244. <https://doi.org/10.1002/ldr.2523>
- Desmet, P.J.J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Soil and Water Conservation*, 51(5), 427-433.
- Fan, L., & Wang, D. (2024). Natural resource efficiency and green economy: Key takeaways on clean energy, globalization, and innovations in BRICS countries. *Resources Policy*, 88: 104382. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104382>
- Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano A., & Nole, A. (2012). Performance evaluation and costs assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. *Ecological Indicators*, 23, 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.015>
- Foushee, A. (2010). *Identifying ecological indicators of climate change and land use impacts to a coastal watershed*. University of Vermont, Project, 60.
- Hakimdoust, S. Y., Pourzeidi, A., & Gerami, M. S. (2017). Spatial analysis of showers in Mazandaran Province in the GIS environment. *Geographical Data (SEPEHR)*, 26, 191-203. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.27477> (In Persian)
- Hall, W.J., Borgomeo, E., Bruce, A., Di Mauro, M., & Mortazavi Naeini, M. (2019). Resilience of water resource systems: lessons from England. *Water Security*, 8, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2019.100052>
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2017). Watershed health characterization using reliability-resilience, vulnerability conceptual framework based on hydrological responses. *Land Degradation and Development*, 28, 1528-1537. <https://doi.org/10.1002/ldr.2680>
- Hazbavi, Z., Ghabelnezam, E., Azizi, E., Sharifi, Z., Fatholouloumi, S., & Nikoo, M.R. (2023). Assessment of ecological quality in the Nir Watershed, Ardabil Province. *Watershed Management Research*, 36(3), 90-110. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2023.360357.1494> (In Persian).
- Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Jantene, B., Gholamalifard, M., & Sadeghi, S.H.R. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93, 781-790. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.078>
- Hejabi, S., Irannejad, P., & Bazrafshan, J. (2018). Modification of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) based on Atmosphere-Land Surface Interaction Scheme (ALSIS) in Karkheh River Basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(3), 170-183 (In Persian)
- Hejazi, A., & Mezbani, M. (2016). The estimation of runoff volume and maximum discharge by using curve number (CN) Method (case study in Darrehshahr Drainage Basin). *Hydrogeomorphology*, 2(5), 63-81. (In Persian)
- Hoseinzadeh, M.M., Nosrati, K., & Imeni, S. (2018). Determining curve number and estimating runoff yield in hesarak catchment. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(51), 133-150. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.51.133> (In Persian)
- Kelly, N.E., O'Connor, E.M., Wilson, R.F., Young, J.D., Winter, J.G., & Molot, L.A. (2016). Multiple stressor effects on stream health in the Lake Simcoe Watershed. *Great Lakes Research*, 42(5), 953-964. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.07.007>
- Khakipour, N. (2024). Variability of some soil quality indicators under different land uses in a part of Lahijan region, Gilan province. *Agricultural Engineering*, 47(1), 19-34. <https://doi.org/10.22055/agen.2024.455351700>
- Khan, R., & Gilani, H. (2021). Global drought monitoring with big geospatial datasets using Google Earth Engine. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 17244-17264. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12023-0>
- Kiani Harchegani, M., Sadeghi, S.H.R., & Falahatkar, S. (2019). Comparative analysis of soil erodibility factor in Shazand Watershed. *Ecologyhydrology*, 6(1),

- 153-163.  
<https://doi.org/10.22059/ije.2018.269592.985> (In Persian)
- Liu, J., Loan, V.T.K., Mousa, S., Ali, A., Muda, I., & Cong, P.T. (2023). Sustainability and natural resources management in developed countries: The role of financial inclusion and human development. *Resources Policy*, 80, 103143.  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103143>
- Loucks, D.P. (1997). Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences*, 42 (4), 513-530.  
<https://doi.org/10.1080/02626669709492051>
- Lu, L., Wang, R., Zhang, Y., Su, H., Wang, P., Jenkins, A., Ferrier, R., Bailey, M., & Squire, G. (2015). Ecosystem health towards sustainability. *Ecosystem Health and Sustainability*, 1(1), 1-15.  
<https://doi.org/10.1890/EHS14-0013.1>
- Mahdavi, M. (2001). *Applied hydrology*. University of Tehran, 342 p. (In Persian).
- Milly, P.C., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., & Krysanova, V. (2015). On critiques of stationarity is dead: water management? *Water Resources Research*, 51, 7785-7789.  
<https://doi.org/10.1002/2015WR017408>
- Min, S.K., Zhang, X., Zwiers, F.W., & Hegerl, G.C. (2011). Human contribution to more intense precipitation extremes. *Nature*, 498, 378-381.  
<https://doi.org/10.1038/nature09763>
- Mirchooli, F., Sadeghi, S.H.R., & Khaledi Darvishan, A. (2022). Comparative analysis of the effect of different algorithms for calculating the topographic factor on the amount and spatial distribution of soil erosion in the Shazand Watershed, Iran, *Watershed Engineering and Management*, 14(2), 232-242.  
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.341236.1753> (In Persian)
- Mirchooli, F., Sadeghi, S.H.R., Darvishan, A.K., & Strobl, J. (2021). Multi-dimensional assessment of watershed condition using a newly developed barometer of sustainability. *Science of the Total Environment*, 791, 148389.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148389>
- Mohammadi Ostadkelayeh, A., Toomaj, A., Mehrabi Nia, F., & Bahlake, M. (2022). Investigating the Relationship Between Spatial Resilience and Individual Resilience of Areas Subject to Resettlement Plan (Case Study of Northeastern Flooded Areas of Golestan Province). *Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 127-142.  
<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73350.1128> (In Persian)
- Mousavi, S.K., Tabesh, M.R., Lahijanani, A., Jozi, S.A., & Mirfakhraei, S.H. (2021). Establishment and Selection of Strategy for Improve Resilience of Yazd Ardakan Plain Water Resources. *Geographical Space*, 73 (21), 103-120. (In Persian).
- Newson, M. (1997). *Land, water and development: Sustainable management of river basin systems. Second Edition*, ISBN 0-203-44352-7 Master e-book ISBN, London and New York, 460.  
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427>
- Phillips, I.D., Davies, J.M., Bowman, M.F., & Chivers, D.P. (2016). Macroinvertebrate communities in a Northern Great Plains River are strongly shaped by naturally occurring suspended sediments: implications for ecosystem health assessment. *Freshwater Science*, 35, 1354-1364.  
<https://doi.org/10.1086/689013>
- 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: US Government Printing Office*, 703, 384.
- Roose, E. (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest-vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Pour Faire Face A` Ce Probleme Pre'occupant, I'ORSTOM et Les Instituts Travaux et Documents de I'ORSTOM. *Earth sciences*, 78, 108.
- Rouhani, H., Fathabadi, A., Bahlekeh, M., & Seyedian, S.M. (2019). Analysis of projected impacts of climate change on hydrological behavior of catchments based on signature indices in the Arazkoose Watershed. *Water and Soil Science*, 29(4), 97-108. (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2018). Dynamic health zoning of Shazand watershed based on characteristic

- discharges of low and high water. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 589-608. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Tavooosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh, H., Akbari Emamzadeh, F., Bahlekeh, M., Khorshid Sokhangoy, F., & Chamani, R. (2022). Evaluation and variability of flood-oriented health of Shiraz Darwazeh Quran Watershed from watershed management structures. *Water and Soil*, 36(5), 61-577. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.78150.1190> (In Persian).
- Sadeghi, S.H.R., Davudirad, A., Sadoddin, A., & Paimozd, S. (2017). Trend of changes in land degradation index in Shazand Watershed, Markazi Province. *Watershed Engineering and Management*, 9(4), 383-397. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.113459> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Interactive impacts of climatic, hydrologic and anthropogenic activities on watershed health. *Science of the Total Environment*, 648, 880-893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.004>
- Sadeghi, S.H.R., 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)
- Seddighi, H., & Seddighi, S. (2020). How much the Iranian government spent on disasters in the last 100 years? A critical policy analysis. *Cost effectiveness and resource allocation*, 18, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s1296202000242-8>
- Silabi, M.Z., Sadeghi, S.H.R., & Vafakhah, M. (2025). Soil erosion elasticity initiative for prioritizing sub-watersheds. *International Soil and Water Conservation Research*, 779-787. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.12.001>
- Solaimani Sardoo, F., & Broumand, N. (2019). Study the role of outlying data in hydrological frequency analysis using L-moments in Halilroud Basin. *Watershed Management Research*, 1(2), 95-108. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.310> (In Persian)
- Troeh, F.R., Hobbs, J.A., & Donahue, R.L. (1999). *Soil and water conservation: Productivity and environmental protection*. Prentice-Hall, Inc.
- Vahidi, M., Khalili, R., Vadiea, S., & Hazrati Someeh, Z. (2024). Anthropological study of social resilience opportunities and threats in North Khorasan. *Anthropological Research*, 14(1), 194-217. <https://doi.org/10.22059/ijar.2024.377244.459878> (In Persian)
- Vrsmarty, C.J., Pahl-Wostl, C., & Bhaduri, A. (2013). Water in the Anthropocene: New Perspectives for Global Sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 535-538. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.01>
- Wang, Y., Shi, F., Yao, P., Sheng, Y., & Zhao, C. (2024). Assessing the evolution and attribution of watershed resilience in arid inland river basins, Northwest China. *Science of The Total Environment*, 906, 167534. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.011>
- White, H.J., Gaul, W., León-Sánchez, L., Sadykova, D., Emmerson, M.C., Caplat, P., & Yearsley, J.M. (2022). Ecosystem stability at the landscape scale is primarily associated with climatic history. *Functional Ecology*, 36(3), 622-634. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13957>
- White, K.J. (1992). The Durbin-Watson test for autocorrelation in nonlinear models. *The Review of Economics and Statistics*, 74(2), 370-373. <https://doi.org/10.2307/2109675>
- Yang, X., Scuderi, L., Paillou, P., Liu, Z., Li, H., & Ren, X. (2011). Quaternary environmental changes in the drylands of china- A critical review. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3219-3233. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.08.009>



## Investigation of drought processes under climate change conditions in the future period using IPCC sixth assessment report (Case study: Qaen synoptic station)

Majid Havangi, Mahdi Amirabadizadeh, Mahdi Dastourani\*

Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

\*Corresponding author: [mdastourani@birjand.ac.ir](mailto:mdastourani@birjand.ac.ir)

(Received: 06 July 2024

Revised: 19 November 2024

Accepted: 11 December 2024)

### Extended abstract

**Introduction:** The phenomenon of climate change, as one of the main drivers of the increase in greenhouse gases, has a significant impact on extreme events such as floods and droughts. Therefore, investigating the impact of climate change on these extreme phenomena is crucial for the planning and management of water resources in the future. Drought, along with its effects on natural resources, agricultural production, and economic and social development, is one of the fundamental challenges facing both Iran and the world. Since drought impacts various sectors of society—such as water resources, agriculture, and industry—it is essential to monitor and assess this phenomenon both now and, in the future, to plan effectively across different sectors. Considering that previous research relied on only one AOGCM model, primarily using the fourth or fifth reports, this study utilizes five CMIP6 climate models while incorporating the sixth assessment report. This research, therefore, discusses drought forecasting under climate change conditions using five climate models and two emission scenarios at the Qaen synoptic station.

**Materials and Methods:** In this research, five large-scale models were used: ACCESS-ESM1-5, CNRM-CM6-1, HadGEM3-GC31-LL, MRI-ESM2-0, and MPI-ESM1-2-L-R. Two emission scenarios, SSP5-8.5 (pessimistic) and SSP2-4.5 (intermediate), along with the LARS-WG statistical downscaling method, were applied. First, the LARS-WG model was evaluated using the basic data. After calibrating and validating the model, temperature and precipitation parameters were produced for the future period. Then, the SPEI and SPI drought indices were calculated and analyzed for the base period (1990-2020) and the future period (2025-2055).

**Results and Discussion:** The  $bR^2$  values for the minimum and maximum temperatures were 0.99, and the RMSE values for these temperatures were 0.308 and 0.384, respectively, indicating the high accuracy of the model in downscaling temperature. For precipitation, the  $bR^2$  value was 0.74, and the RMSE was 4.001, showing the model's good performance in downscaling precipitation data for the base period. The amount of precipitation increased or decreased depending on the emission scenario and the month. The simulated average temperature in both scenarios shows an increasing trend compared to the base period. Based on the 12-month SPI index, the number of dry and wet months increased relative to the base period. Additionally, the number of normal months in the future period decreased compared to the base period in both the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. According to the SPEI index in both scenarios, the number of dry months in the future period decreased compared to the base period, while the number of wet months showed only a slight increase.

**Conclusion:** The LARS-WG model demonstrated good performance in downscaling precipitation and temperature for the future period. The results indicate an increasing trend in average downscaled temperature in both scenarios compared to the base period. Precipitation varied depending on the scenario and month. Findings revealed that the frequency of wet and dry periods on a short-term scale (6 months) was higher than on a longer time scale (12 months), suggesting that as the time scale increases, the frequency of wet and dry periods decreases, while their duration increases. Furthermore, in the future period (2025-2055), the frequency of droughts is expected to decrease, but with increased duration compared to the base period. The number of dry months in the future period will be significantly reduced, while the number of normal and wet months will increase slightly. The most severe drought, characterized by high continuity, is predicted to occur from 2045 to 2055.

**Keywords:** Temperature, precipitation, Ensemble models, Down scaling, LARS-WG, SPI and SPEI

Citation: Havangi, M., Amirabadizadeh, M. & Dastourani, M. (2025). Investigation of drought processes under climate change conditions in the future period using IPCC sixth assessment report (Case study: Qaen synoptic station). *Integrated Watershed Management*, 5(3), 36-52. doi= 10.22034/iwm.2024.2033468.1161

### 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 روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی با استفاده از گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک قاین)

مجید هاونگی، مهدی امیرآبادیزاده، مهدی دستورانی\*

گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

\*نویسنده مسئول: [mdastourani@birjand.ac.ir](mailto:mdastourani@birjand.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** پدیده تغییر اقلیم به عنوان یکی از دلایل افزایش گازهای گلخانه‌ای تأثیر زیادی بر پدیده‌های حدی مانند سیل و خشکسالی دارد. لذا بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پدیده‌های حدی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی از اهمیت خاصی برخوردار است. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع طبیعی، تولیدات کشاورزی، توسعه اقتصادی و اجتماعی یکی از چالش‌های اساسی ایران و جهان است و از آنجا که خشکسالی بخش‌های مختلف جامعه مانند منابع آب، کشاورزی، صنعت، و غیره را تحت تأثیر قرار می‌دهد، پیش و ارزیابی این پدیده در حال و آینده به منظور برنامه‌ریزی مناسب در بخش‌های مختلف جامعه امری ضروری و حائز اهمیت است. با توجه به اینکه در پژوهش‌های قبلی تنها از یک مدل AOGCM و عمدتاً با استفاده از گزارش‌های چهارم یا پنجم صورت گرفته است، در این تحقیق ضمن استفاده از مدل‌های گزارش ششم، از پنج مدل اقلیمی CMIP6 استفاده شده است. لذا در این تحقیق به پیش‌نگری خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از پنج مدل اقلیمی و دو سناریوی انتشار در ایستگاه سینوپتیک قاین پرداخته شد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق از ترکیب پنج مدل بزرگ مقیاس شامل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1، HadGEM3-GC31-LL، MRI-ESM2-0 و MPI ESM 1-2-LR و دو سناریوی SSP5.8-5 (سناریوی بدبینانه) و SSP2.4-5 (سناریوی حد واسط) و روش ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG استفاده شد. ابتدا با استفاده از داده‌های پایه، مدل LARS-WG مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، پارامترهای دما و بارش برای دوره آتی تولید شدند؛ سپس شاخص‌های خشکسالی SPEI و SPI در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) و دوره آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۵) محاسبه و تحلیل گردید.

**نتایج و بحث:** مقادیر  $br^2$  برای دمای کمینه و بیشینه مقدار ۰/۹۹ به دست آمد و مقادیر RMSE برای دمای کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۳۰۸ و ۰/۳۸۴ درجه سانتی‌گراد و ضریب نش‌ساتکلیف برای دمای کمینه و بیشینه ۰/۹۹۸ به دست آمد که نشانگر دقت بالای مدل در ریزمقیاس نمایی دمای کمینه و بیشینه می‌باشد. برای متغیر بارش مقدار  $br^2$  برابر ۰/۷۴ و مقدار RMSE برابر ۴/۰۰۱ میلی‌متر و ضریب نش ساتکلیف ۰/۸۳۴ به دست آمد که نشانگر عملکرد خوب مدل در ریزمقیاس‌سازی داده‌های بارش دوره پایه می‌باشد. پیش‌نگری دوره آتی نشان داد که مقدار بارش بسته به سناریوی انتشار و ماه مدنظر افزایش یا کاهش دارد و دمای میانگین ریزمقیاس‌سازی شده در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه روند صعودی دارد. بر اساس شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه، تعداد ماه‌های خشک و مرطوب نسبت به دوره پایه افزایش و تعداد ماه‌های نرمال در دوره آتی بر اساس سناریوهای SSP2.4-5 و SSP5.8-5 نسبت به دوره پایه کاهش داشته است در حالی که بر اساس شاخص SPEI تعداد ماه‌های خشک در دوره آتی بر اساس هر دو سناریو نسبت به دوره پایه کاهش و تعداد ماه‌های مرطوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه تغییر چندانی نداشته و به میزان یک ماه افزایش داشت.

**نتیجه‌گیری:** مدل LARS-WG داری عملکرد مناسبی در ریزمقیاس‌سازی بارش و دما برای دوره آتی می‌باشد که بر اساس نتایج آن دمای میانگین ریزمقیاس‌سازی شده در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه روند افزایشی دارد. مقدار بارش بسته به سناریو و ماه مدنظر افزایش یا کاهش داشت. نتایج نشان داد افزایش تداوم خشکسالی و فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب به ترتیب با افزایش مقیاس‌های زمانی رابطه مستقیم و معکوس دارد و با افزایش مقیاس زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش و تداوم این دوره‌ها افزایش می‌یابد. همچنین در دوره آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۵) تکرار دوره‌های خشکسالی‌ها باتداوم بالا نسبت به دوره پایه دارای روند کاهشی است و تعداد ماه‌های خشک در دوره آتی بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره پایه به طور قابل توجهی کمتر شده و تعداد ماه‌های نرمال و مرطوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمی افزایش را نشان می‌دهند. شدیدترین خشکسالی با تداوم زیاد در دوره آتی از سال ۲۰۴۵ تا ۲۰۵۵ پیش‌نگری می‌شود.

**واژه های کلیدی:** دما، بارش، اجرای گروهی، ریزمقیاس نمایی، LARS-WG، SPI، SPEI

**استناد:** هاونگی، م.، امیرآبادیزاده، م.، و دستورانی، م. (۱۴۰۴). بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی با استفاده از گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک قاین). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵۲(۳)، ۳۶-۵۲.

### 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 قابل دسترس است.

## مقدمه

بررسی روند خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و مطالعات مختلفی در این زمینه در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است. شاخص‌های متعددی برای پایش خشکسالی وجود دارد که شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۱</sup> و بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI)<sup>۲</sup> از آن جمله هستند که در مطالعات مختلف به ارزیابی پدیده خشکسالی با استفاده از این دو شاخص پرداخته شده است از جمله Sayari و همکاران (۲۰۱۲) روند خشکسالی را تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه کشف رود (ایستگاه مشهد) در دوره‌های آبی با استفاده از مدل HadCM3 و دو سناریوی A2 و B2 بررسی و نشان دادند که میانگین بارندگی و دما برای هر دو سناریو، افزایش خواهد داشت. همچنین فراوانی وقوع خشکسالی هم برای هر دو سناریو روند صعودی خواهد داشت. Zare Abyane و همکاران (۲۰۱۵) به پایش خشکسالی بر مبنای شاخص SPEI تحت تأثیر تغییر اقلیم در منطقه همدان پرداختند. نتایج نشان داد که بر اساس نتایج سناریوی محتمل A2 طی سه دهه آینده دمای متوسط و بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب ۰/۸۲ درجه سانتی‌گراد و ۲/۵ درصد افزایش می‌یابند. پایش وضعیت رطوبتی بر مبنای شاخص SPEI نیز نشان دهنده تغییرات زیاد شرایط رطوبتی در دهه اول پیش‌نگری نسبت به دهه‌های دوم و سوم بود. Kim و همکاران (۲۰۱۶) به پیش‌بینی شرایط خشکسالی آینده در منطقه‌ای در کره جنوبی بر اساس مدل HadGEM3-RA و سناریوهای تغییر اقلیم RCP8.5 با استفاده از شاخص SPEI پرداختند. نتایج نشان داد که مقیاس، فراوانی و شدت خشکسالی به دلیل تغییر اقلیم در آینده شدیدتر می‌شود. در پژوهشی دیگر Saeidipour و همکاران (۲۰۱۹) به تحلیل منطقه‌ای خشکسالی در

پدیده تغییر اقلیم که یکی از دلایل وقوع آن افزایش گازهای گلخانه‌ای است تأثیر به‌سزایی بر پدیده‌های حدی همچون سیل و خشکسالی دارد (van Pelt & Swart, 2011). لذا بررسی پدیده‌های حدی جهت مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خشکسالی یکی از پدیده‌های شدید آب‌وهوایی است که بیشترین تأثیر را بر جمعیت جهان دارد و این پدیده تأثیرات جدی بر دسترس بودن آب و در نتیجه بر فعالیت‌های اقتصادی مانند کشاورزی، گردشگری، سلامت انسان و اکوسیستم‌ها خواهد داشت (Rajaie, 2022). خشکسالی و پیامدهای نامطلوب آن برای منابع طبیعی، تولیدات کشاورزی، توسعه اقتصادی و اجتماعی یکی از چالش‌های اساسی ایران و سایر مناطق مستعد خشکسالی است و با توجه به فراوانی وقوع و گستره قابل توجه آن سازوکارهای مقابله جهت‌دار با آن ضروری است (Kheyri et al., 2021). در دهه‌های اخیر در میان حوادث طبیعی که جمعیت انسانی را تحت تأثیر قرار داده است زیان‌بارترین آنها از نظر شدت، مدت، گستره تحت پوشش، خسارت‌های اقتصادی-اجتماعی وارد شده، پدیده خشکسالی بوده است. اگرچه امروزه به دلیل پیشرفت‌های علمی و گسترش ارتباطات و حمل‌ونقل، بروز آثار خشکسالی به شکل قحطی و مرگ دسته‌جمعی کمتر بروز می‌کند، ولی آثار و تبعات خشکسالی همچنان پابرجاست (Hayes et al., 1996; Bazrafshan et al., 2011). از آنجا که خشکسالی بخش‌های مختلف جامعه مانند منابع آب، کشاورزی، صنعت، اقتصاد، بهداشت و غیره را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین پایش و ارزیابی این عامل در حال و آینده به منظور ارائه برنامه‌ریزی صحیح در بخش‌های مختلف جامعه امری ضروری است.

<sup>2</sup> Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

<sup>1</sup> Standardized Precipitation Index

پرداختند. نتایج نشان از افزایش ۰/۸۵ تا ۱/۵۴ درجه سانتی‌گرادی میانگین دمای ماهانه تحت سناریوی RCP8.5 و افزایش ۰/۲۵ تا ۱/۴۵ درجه سانتی‌گرادی آن تحت سناریوی RCP4.5 و کاهش ۳۱ تا ۱۰۰ میلی‌متری متوسط بارش سالانه داشت. همچنین تحلیل شاخص SPEI نشان داد که ۶۵ درصد سال‌ها وضعیتی نرمال دارد. Hajiabadi و همکاران (۲۰۲۰) به پیش‌نگری خشکسالی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم در منطقه بیرجند پرداختند. نتایج نشان داد که طی سال‌های آینده خشکسالی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. Abadeh و Khosrowshahi (۲۰۲۱) در پژوهشی به ارزیابی و پایش پدیده خشکسالی بر اساس دو شاخص SPI و SPEI در استان هرمزگان پرداختند. نتایج نشان داد هرچند مقادیر شاخص SPI و SPEI دارای همبستگی بوده‌اند، اما شاخص SPEI نسبت به خشکی حساس‌تر بوده و پاسخ سریع‌تری نسبت به آن داشته است و پراکنش شاخص SPI در منطقه مورد مطالعه یکنواخت‌تر از پراکنش شاخص SPEI بوده است. Issaharou-Matchi و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی ویژگی‌های خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI مناطق نیمه‌خشک نیجر جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد فراوانی خشکسالی در مناطقی از حوضه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. Azareh و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آتی با استفاده از دو مدل گردش عمومی BNU-ESM و HADGEM2 کاهش می‌یابد و مقادیر SPI سالانه برای هر دو مدل در هر دو دوره آتی تحت هر سناریو نسبت به دوره پایه پرداختند. نتایج نشان داد در تمامی سناریوها در هر دو مدل دمای متوسط سالانه افزایش و بارش متوسط سالانه کاهش یافته و متعاقباً خشکسالی هواشناسی افزایش می‌یابد. Rajaie (۲۰۲۲) به پیش‌بینی شرایط خشکسالی

حوزه آبریز کارون با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که برای تمامی ایستگاه‌ها، همبستگی دو شاخص به صورت مثبت و معنی‌دار است و با افزایش دوره زمانی، میزان ضریب همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی افزایش یافته است. Pirnia و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی وضعیت خشکسالی در حوزه آبریز تمر (بالادست سد گلستان) با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI تحت شرایط اقلیمی حال و آینده در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و دوره آتی (۲۰۴۹-۲۰۲۰) پرداختند؛ نتایج شاخص SPI نشان داد در هر دو دوره پایه و آتی بیشتر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها به ترتیب در اواخر و نیمه ابتدایی دو دوره رخ داده‌اند و نتایج شاخص SPEI در مقایسه با شاخص SPI روند منطقی‌تر و واقعی‌تری داشت. Jafari و همکاران (۲۰۱۹) به پیش‌بینی خشکسالی‌های استان خراسان شمالی با مدل HadCM3 و شاخص‌های SPI و RDI<sup>1</sup> در دوره آتی (۲۰۳۲-۲۰۱۳) پرداختند. نتایج نشان داد که درصد فراوانی خشکسالی‌های دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه (۲۰۱۲-۱۹۹۳) تحت هر سه سناریو در مقیاس یک ماهه و سالانه کاهش داشته است. از طرف دیگر درصد فراوانی ترسالی افزایش داشته است. Ashrafzade و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی حوزه آبریز حبله‌رود با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 و نمایه‌های SPI و RDI پرداختند. نتایج نشان داد میانگین دمای سالانه به میزان ۰/۴۷ درجه سانتی‌گراد و دمای کمینه ۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج، بیانگر کاهش وقوع خشکسالی‌های شدید در بیشتر سال‌های سه دهه آینده می‌باشد. Farrokhzadeh و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص SPEI در حوزه آبخیز لتیان با استفاده از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۵۰

<sup>1</sup> Reconnaissance Drought Index

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان قاینات یکی از شهرهای استان خراسان جنوبی است که بین  $12^{\circ}59'$  تا  $14^{\circ}59'$  طول شرقی و  $42^{\circ}33'$  تا  $45^{\circ}33'$  عرض شمالی و در ارتفاع متوسط  $1440$  متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین سالانه بارندگی بلندمدت آن  $173$  میلی‌متر و میانگین دماهای کمینه و بیشینه آن به ترتیب  $6/3$  و  $22/3$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Amirabadizadeh *et al.*, 2019). ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه (سینوپتیک قاین) در ارتفاع  $1446$  متر و عرض جغرافیایی  $42^{\circ}33'$  و طول جغرافیایی  $10^{\circ}59'$  واقع گردیده است.

### روش ریز مقیاس نمایی داده‌ها

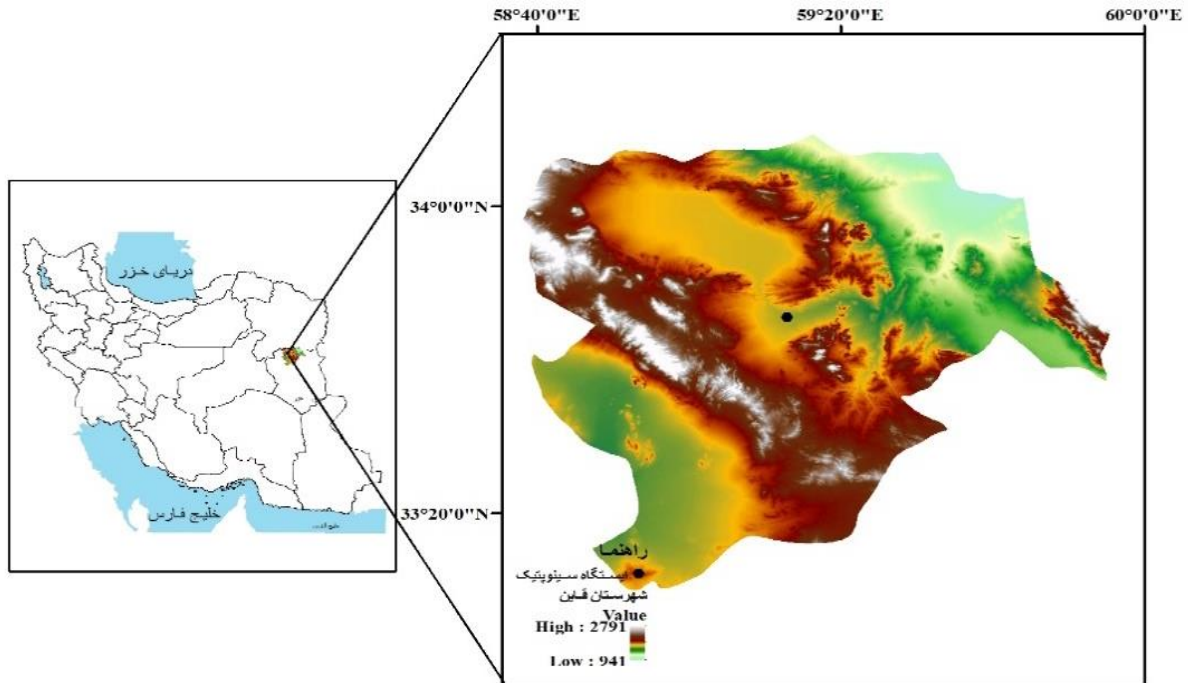
#### معرفی نرم‌افزار LARS-WG

نرم‌افزار LARS-WG<sup>۱</sup> یک تولیدکننده تصادفی اطلاعات هواشناسی<sup>۲</sup> است. این نرم‌افزار قادر به مدل‌سازی اطلاعات هواشناسی یک محل بر اساس اطلاعات فعلی است. این اطلاعات به صورت سری زمانی روزانه متغیرهای اقلیمی کمینه و بیشینه دما، بارندگی و تشعشعات خورشید است (Mardani *et al.*, 2022). خواص آماری داده‌های تولید شده مشابه دوره آماری بوده اما انحراف معیار آن‌ها به نسبت اختلاف داده‌های مدل GCM در دوره گذشته و آینده مقایسه می‌شود. داده‌ها در سری‌های زمانی روزانه برای یک سری متغیرهای اقلیمی مناسب ایجاد می‌شوند. نکته قابل توجه این است که مولدهای مصنوعی داده‌های آب و هوایی ابزاری برای پیش‌نگری نیستند که بتوان در پیش‌نگری‌های آب و هوایی استفاده کرد (Panahi *et al.*, 2021)، اما توانایی تولید سری‌های زمانی آب و هوایی یکسان با دوره دیدبانی را دارند.

تحت رویکرد تغییر اقلیم آینده در منطقه قراخیل واقع در حوزه آبریز تالار در استان مازندران پرداختند. نتایج نشان داد در دوره آتی تحت تأثیر تغییر خواهد یافت. Stathi و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی روند هیدرومتروئولوژیک و شدت خشکسالی در جزایر مدیترانه‌ای جنوب تونس پرداختند. نتایج نشان داد میانگین دمای هوای سالانه افزایش خواهد داشت و بر اساس مقادیر شاخص SPI خشکسالی شدید و خیلی‌شدید با تغییرات اندک اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه که ویژگی‌های خشکسالی ممکن است با گذشت زمان در اثر تغییرات اقلیمی دچار تغییر شوند، با پیش‌نگری و پایش وضعیت‌های رطوبتی متأثر از تغییرات اقلیمی در آینده می‌توان به مدیریت این پدیده جهت کاهش خسارات و شدت آن پرداخت. در اکثر مطالعات صورت گرفته تنها از یک مدل AOGCM و عمدتاً با استفاده از گزارش‌های چهارم یا پنجم صورت گرفته است. در این تحقیق ضمن استفاده از مدل‌های گزارش ششم از پنج مدل اقلیمی CMIP6 (جدول ۲) و دو سناریوی SSP5.8-5 (سناریوی بدبینانه) و SSP2.4-5 (سناریوی حد واسطه) و دو شاخص SPI و SPEI جهت بررسی روند خشکسالی استفاده شده است که این موضوع باعث افزایش اطمینان‌پذیری به نتایج می‌گردد. سناریوی SSP2.4-5 دنیایی با توسعه اقتصادی-اجتماعی در شرایط معمول را با آسیب‌پذیری و سطح واداشت تابشی متوسط در نظر می‌گیرد و سناریوی SSP5.8-5 نیز حد بالای واداشت تابشی را ارائه می‌دهد که در آن پیشرفت با استفاده از سوخت فسیلی الگوی مصرف بالای انرژی همراه است (O'Neill *et al.*, 2017; Rogelj *et al.*, 2018; Estoque *et al.*, 2020).

<sup>2</sup>-Stochastic Weather Generator

<sup>1</sup>-Long Ashton Research Station



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

سری‌های تر به روزهایی با بارش بیش از صفر میلی‌متر تعریف می‌شود و طول هر سری به صورت تصادفی از طریق توزیع نیمه‌تجربی اختصاص یافته به آغاز هر ماه تعیین می‌شود. برای روزهای تر، مقادیر بارش از طریق توزیع نیمه‌تجربی‌ای تعیین می‌شود که مربوط به بارش می‌باشد که از طول سری‌های تر با بارش روزهای قبلی مستقل است. مدل LARS-WG به منظور شبیه‌سازی طول دوره‌های تر و خشک، بارش روزانه و تابش خورشیدی از توزیع نیمه‌تجربی استفاده می‌کند. درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز موردنظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. در توزیع نیمه‌تجربی فاصله‌ها به طور مساوی بین مقادیر بیشینه و کمینه سری زمانه ماهانه به صورت رابطه (۱) تقسیم می‌شوند:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i, i = 1, 2, 3, \dots, 10\} \quad (1)$$

در این روش ریزمقیاس‌نمایی با شبیه‌سازی و تولید داده‌های آب و هوایی مصنوعی در مقیاس محلی می‌توان مطالعات تغییر اقلیم در یک ایستگاه را انجام داد. مولد مصنوعی داده آب‌وهوایی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده به کار رود (Munawar *et al.*, 2022). هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکف است که یک روش مرسوم برای مدل‌سازی پدیده بارش است و در واقع هدف اصلی از کاربرد مدل LARS-WG برطرف نمودن محدودیت‌های زنجیره مارکف است. زنجیره مارکف همیشه قادر نیست به طور صحیح طول دوره خشکی را شبیه‌سازی نماید. طول دوره‌ی خشکی برای ارزیابی عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق مختلف جهان بسیار مهم است (Mohammed & Hassan, 2022). در این مدل وقوع بارش به صورت سری‌های تر و خشک مدل‌سازی می‌شود، به طوری که

### بررسی تغییرات اقلیمی

در این مطالعه با در نظر گرفتن دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰ به عنوان دوره پایه، عوامل اقلیمی مورد نیاز برای مدل ریزمقیاس LARS-WG جمع‌آوری و برای تولید داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله واسنجی صورت گرفت. با توجه به اینکه نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی صرفاً در مناطق آزمون از اعتبار لازم برخوردار است، مرحله اعتبارسنجی مدل متناسب با داده‌های منطقه مطالعاتی صورت گرفت (Farrokhzadeh et al., 2020). به منظور اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوه پایه تدوین و مدل برای این دوره اجرا شد. سپس خروجی‌های مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش با داده‌های ۳۰ ساله مشاهده شده ایستگاه مورد مطالعه مقایسه شدند. در نهایت به منظور ارزیابی و مقایسه دقت مدل‌های کوچک مقیاس استفاده شده از مقایسه داده‌های دوره پایه و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای ارزیابی RMSE<sup>۱</sup>، bR<sup>۲</sup> (ضریب تعیین (R<sup>۲</sup>) ضرب در ضریب خط رگرسیون) و NSE<sup>۳</sup> صورت گرفت. مقدار پارامتر NSE بین منهای بی‌نهایت و ۱ متغیر می‌باشد و هرچه این مقدار به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده بیش‌تر بودن دقت مدل است. پارامتر RMSE خطای مدل را نشان می‌دهد و پایین‌تر بودن مقادیر مربوط به این دو معیار نشان کارایی بهتر مدل می‌باشد. همچنین ضریب تعیین اصلاح‌شده (bR<sup>۲</sup>) بین ۰ و ۱ است. مقدار ۱ نشان‌دهنده تطابق بیشتر داده‌های مشاهده‌ای و ریزمقیاس شده‌است. شاخص‌های مذکور با استفاده از روابط ۲ تا ۴ محاسبه می‌شوند (Farrokhzadeh et al., 2020):

$$[a_{i-1} \cdot a_i] a_{i-1} < a_i$$

که در اینجا EMP یک هیستوگرام با ۱۰ بازه با شدت‌های مختلف بارش است.  $h_i$ : تعداد رخداد بارش در  $i$ امین فاصله و  $a_i$  شدت‌های مختلف بارش را نشان می‌دهد. فاصله‌ها برای طول روزهای تر و خشک و بارش افزایشی هستند. فرآیند تولید داده‌ها توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می‌گیرد که عبارتند از واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده (Panahi et al., 2023).

**الف) واسنجی مدل:** در این مرحله مدل با دریافت داده‌های هواشناسی مشاهداتی منطقه در مقیاس روزانه و همچنین اطلاعات جغرافیایی منطقه تنظیم شده و داده‌های آب و هوایی مشاهداتی برای تعیین مشخصات آماری آن آنالیز می‌شود.

**ب) ارزیابی مدل:** در این مرحله با تولید داده‌های آب و هوایی مصنوعی برای دوره مشاهداتی در منطقه مطالعاتی (بدون اعمال تغییر اقلیم) و مقایسه مشخصات داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی، توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه مورد ارزیابی و تصدیق قرار می‌گیرد.

**ج) تولید داده‌های آب و هوایی آینده:** در این مرحله پارامترهای اقلیمی دوره‌های آتی با توجه به مدل GCM و سناریوهای تعیین شده مدل‌سازی می‌شوند (Panahi et al., 2023). در مدل LARS-WG (نسخه ۷) با دارا بودن پنج مدل از گردش عمومی جو مرتبط با CMIP6 امکان اجرای گروهی مدل‌های تغییر اقلیم به منظور کاهش عدم قطعیت‌های موجود در مدل‌های اقلیمی را فراهم می‌سازد.

<sup>3</sup> -Nash-Sutcliffe efficiency

<sup>1</sup> -Root-Mean-Square Error

<sup>2</sup> - Coefficient of Determination

اقلیمی را فراهم می سازد. در این تحقیق از همه مدل‌های موجود در مدل LARS-WG7 شامل ACCESS-ESM1-MPI و MRI-ESM2-0، HadGEM3-GC31-LL، ESM 1-2-L-R و CNRM-CM6-1 که سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 را دارا بودند، برای بررسی تغییرات اقلیمی بر مبنای فرآیند اجرای گروهی مدل‌ها، استفاده شدند. روش‌های مختلفی برای اجرای فرآیند گروهی وجود دارد که عمده‌ترین آن‌ها میانگین حسابی، میانگین وزنی و و رگرسیون چندگانه می‌باشد؛ در این پژوهش از روش میانگین‌گیری حسابی به منظور اعمال وزن مساوی به برون‌داد مدل‌ها استفاده شده است. مشخصات مدل‌های مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است.

### بررسی خشکسالی منطقه با استفاده از شاخص‌های SPEI و SPI

محققان طی دهه‌های گذشته، شاخص‌های مختلفی را به منظور پایش وضعیت خشکسالی و بررسی اثرات کمی ناشی از آن توسعه داده‌اند. در تحقیق حاضر به منظور پایش دوره‌های رطوبتی، شاخص‌های SPI و SPEI انتخاب شدند. شاخص SPI به منظور پایش خشکسالی اقلیمی ایالت کلرادوی آمریکا توسط Mckee و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد گردید (Mckee et al., 1993).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n ((O_i - S_i)^2)}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (۳)$$

$$bR^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - P - 1} \quad (۴)$$

در روابط بالا  $S_i$  مقادیر شبیه‌سازی‌شده،  $O_i$  مقادیر مشاهده‌ای،  $N$  تعداد کل داده‌های مشاهداتی،  $P$  تعداد متغیرهای پیش‌بینی و  $R^2$  ضریب تعیین است. پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو (جدول ۲) مربوط به گزارش ششم تغییر اقلیم و تولید داده‌های مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۱ اجرا شد. پس از اجرای مدل‌های مذکور و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آتی پیش‌نگری گردید. بنا به جدیدترین توصیه IPCC در شبیه‌سازی‌های اقلیمی استفاده از چندین مدل به جای اجرای منفرد مدل‌ها می‌تواند در کاهش عدم قطعیت‌ها در مدل‌ها مؤثر باشد، LARS WG-7 با تجمیع ۵ مدل گردش عمومی در IPCC AR6 امکان اجرای گروهی مدل‌های تغییر اقلیم به منظور کاستن از عدم قطعیت‌های موجود در مدل‌های

### جدول ۲- مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو IPCC AR6

Table2- Characteristics of Atmospheric General Circulation Models (IPCC AR6)

نام مدل	کشور سازنده	تفکیک افقی (km)
ACCESS-ESM1-5	استرالیا	250
CNRM-CM6-1	فرانسه	250
HadGEM3 GC31- LL	بریتانیا	250
MRI-ESM2-0	ژاپن	100
MPI ESM 1-2 -L-R	آلمان	100

با در اختیار داشتن  $F(x)$ ، برای تبدیل توزیع آماری لجستیک به توزیع آماری نرمال، SPEI می‌تواند به سادگی به عنوان مقادیر استاندارد شده  $F(x)$  به دست آید. با توجه به اینکه SPEI یک متغیر استاندارد شده است طبقه‌بندی SPEI همانند SPI بوده و برای طبقه‌بندی مقادیر آن می‌توان از آستانه‌های مندرج در جدول ۳ استفاده کرد. مقدار میانگین عدد SPEI، صفر و انحراف معیار آن برابر یک است. SPEI یک متغیر استاندارد شده است و می‌تواند با سایر مقادیر SPEI در مکان و زمان مقایسه شود (Samti et al., 2019). به منظور محاسبه شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی زمانی ۶ و ۱۲ ماهه از برنامه‌نویسی و پیش گفته و استفاده از پکیج SPEI در محیط نرم‌افزار برنامه‌نویسی R (Vicente-Serrano et al., 2010) استفاده شد.

جدول ۳- طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی بر اساس

#### شاخص‌های SPI و SPEI

Table3- Different categories of drought intensity based on SPI and SPEI indices

SPEI	طبقه‌بندی Classification
>2	ترسالی خیلی شدید
1.5-2	ترسالی شدید
1-1.5	ترسالی متوسط
0.5-1	ترسالی خفیف
-0.5-0.5	نرمال
-0.5- -1	خشکسالی خفیف
-1- -1.5	خشکسالی متوسط
-1.5- -2	خشکسالی شدید
<-2	خشکسالی خیلی شدید

### نتایج

#### ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG

نتایج ارزیابی مقادیر ریزمقیاس شده توسط مدل LARS-WG و مشاهداتی در دوره پایه بر مبنای آماره‌های ارزیابی عملکرد، در جدول ۴ آورده شده است.

برای محاسبه این شاخص، ابتدا با برازش توزیع گاما بر داده‌های بارندگی ماهانه یا مجموع بارندگی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن را با استفاده از نرم‌افزار R محاسبه شده سپس با انتقال احتمال تجمعی به دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده مقادیر شاخص SPI محاسبه می‌شود (Lloyd-Hughes & Saunders., 2022). مهمترین مزیت شاخص SPI قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه‌مدت ذخیره آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثرات دوره‌های طولانی‌مدت منابع آب را پیش نماید (Mishra & Singh, 2010). شاخص دیگر شاخص SPEI است که توسط Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) پیشنهاد شده است، از معادله ساده بیلان آب یعنی اختلاف بین مقدار بارندگی (P) و تبخیر تعرق پتانسیل (PE) برای ماه  $i$  مطابق رابطه ۵ استفاده می‌کند (Vicente-Serrano et al., 2010).

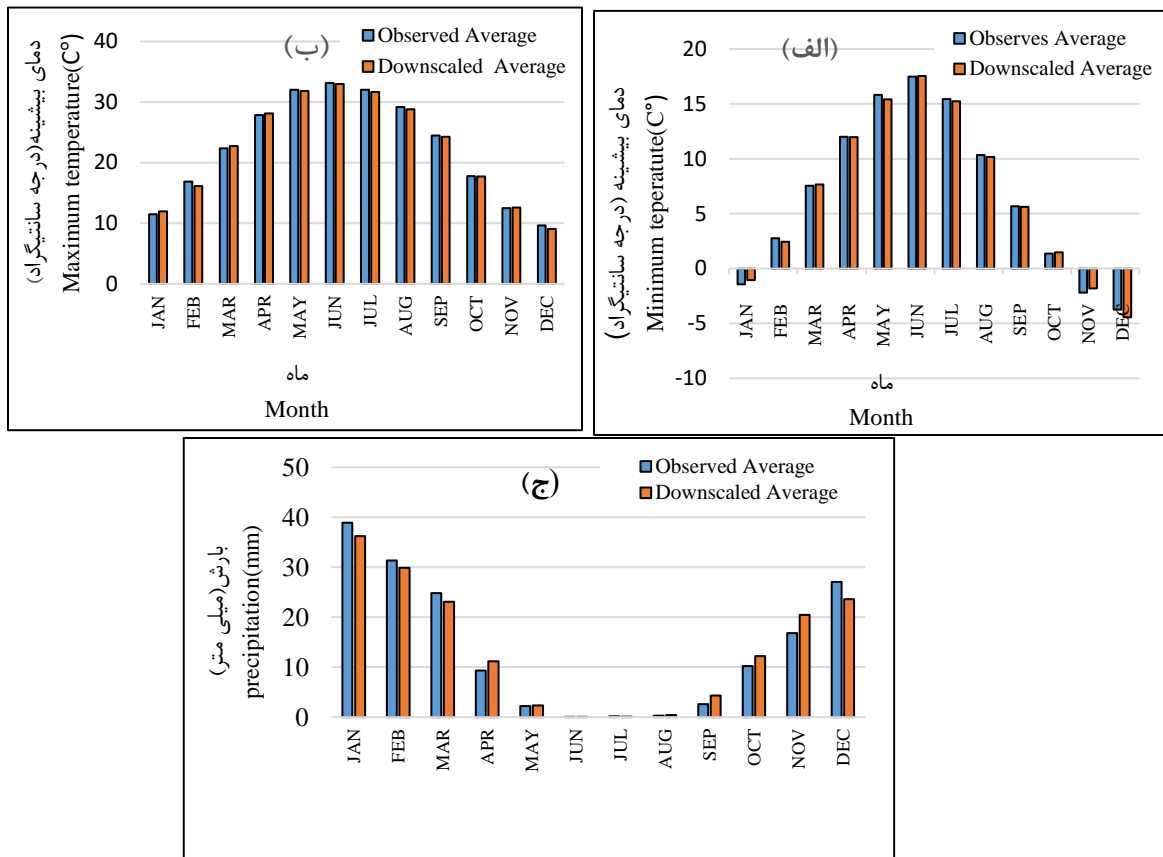
$$D_i = P_i - PE_i \quad (5)$$

در این پژوهش برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از روش تورنت‌وایت استفاده شد. همانند روش محاسباتی شاخص SPI، در این شاخص نیز باید یک تابع چگالی احتمال مناسب بر مقادیر احتمال تجمعی  $D_i$  برازش داده شود. به منظور پوشش دادن مقادیر منفی  $D_i$ ، لازم است که یک توزیع سه پارامتری  $D_i = P_i - PE_i$  را انتخاب نمود. نتایج نشان داده است از بین توابع مختلف، تابع چگالی احتمال لوگ لجستیک سه پارامتری برازش خوبی بر سری داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف دارد (Sameti et al., 2018). شکل کلی این تابع به صورت رابطه (۶) است:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (6)$$

جدول ۴- ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) با استفاده از آماره‌های ارزیابی عملکرد  
**Table4- Evaluation of the LARS-WG model in the base period (1990-2020) using performance evaluation measurement statistics**

بارش Precipitation	دمای بیشینه Maximum temperature	دمای کمینه Minimum temperature	شاخص ارزیابی Evaluation index
0.7	0.99	0.99	bR <sup>2</sup>
4.001	0.384	0.308	RMSE
0.834	0.998	0.998	NSE



شکل ۲- میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (الف) دمای بیشینه (ب) دمای کمینه (ج) بارش  
**Figure 2- Average observed and downscaled values (a) maximum temperature (b) minimum temperature (c) precipitation**

دماهای کمینه و بیشینه می‌باشد. با وجود آنکه بارش از تغییرپذیرترین متغیرهای اقلیمی می‌باشد، اما میانگین مقادیر ریزمقیاس شده تطابق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارند به طوریکه مقدار bR<sup>2</sup> برابر ۰/۷۴ و مقدار RMSE برابر ۴/۰۰۱ میلی‌متر و ضریب نش ۰/۸۳۴ به دست آمد که نشانگر عملکرد خوب مدل در ریزمقیاس کردن داده‌های بارش دوره پایه می‌باشد. لذا مدل مورد بحث از

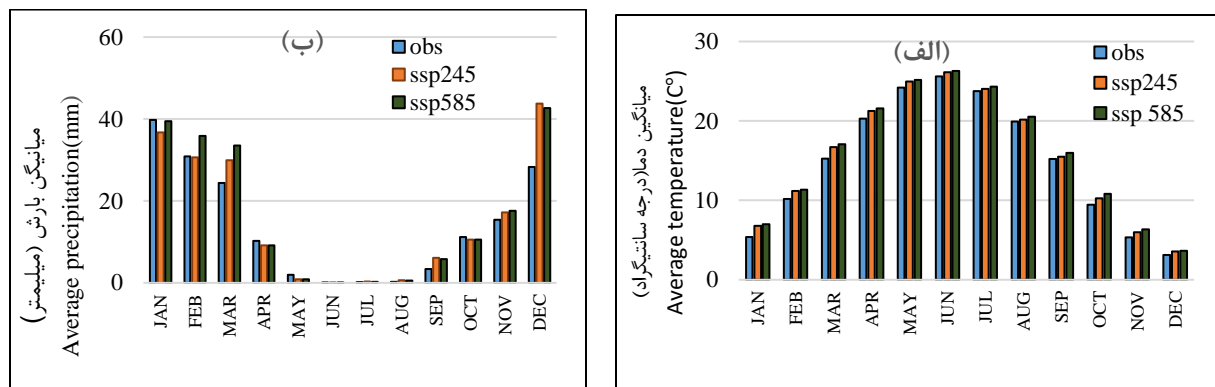
بر اساس نتایج به دست آمده (شکل ۲) تطابق بالایی بین نمودارهای میانگین مشاهداتی و ریزمقیاس شده وجود دارد. مقادیر bR<sup>2</sup> برای دمای کمینه و بیشینه بطور مشابهی ۰/۹۹ به دست آمد و مقادیر RMSE برای دمای کمینه و بیشینه به ترتیب به میزان ۰/۳۰۸ و ۰/۳۸۴ و ضریب نش برای دمای کمینه و بیشینه ۰/۹۹۸ به دست آمد که نشانگر دقت بالای مدل در ریزمقیاس‌سازی

MPI ESM 1-2-L-R بر مبنای دو سناریوی SSP2-4.5 (سناریوی متوسط) و SSP5-8.5 (سناریوی بدبینانه) اجرا گردید. در این تحقیق با میانگین‌گیری از نتایج ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای دما و بارش از مدل‌های مختلف به روش میانگین حسابی، مقادیر روزانه پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه در دوره آینده ریزمقیاس‌سازی گردیدند. در ادامه میانگین ماهانه دما و بارش برای دوره مذکور محاسبه و به صورت مقایسه‌ای نسبت به دوره پایه بر مبنای سناریوهای SSP2.4-5 و SSP5.8-5 در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

عملکرد خوبی برای ریزمقیاس‌کردن دمای کمینه و بیشینه و بارش برخوردار می‌باشد.

شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در دوره آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۵)

با توجه به توانایی مدل LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی دوره پایه، مدل مذکور برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی در دوره آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۵) با استفاده از پنج مدل GCM شامل CNRM، ACCESS-ESM1-5، MRI-ESM2-0، HadGEM3-GC31-LL، CM6-1 و



شکل ۳- میانگین ماهانه متوسط دما (الف) و بارش (ب) در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۵ بر اساس اجرای گروهی مدل‌ها و سناریوهای انتشار در مقایسه با دوره پایه

Figure 3- Average monthly temperature (a) and average monthly precipitation (b) in the period 2025-2055 based on the group implementation of models and emission scenarios in comparison to the base period

می‌دهد. همچنین بر اساس نتایج (شکل ۳-الف) دمای میانگین ریزمقیاس‌سازی شده در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه روند صعودی دارد. به طوریکه میانگین این افزایش برای سناریوهای SSP2.4-5 و SSP5.8-5 به ترتیب ۰/۷۴ و ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است.

نتایج محاسبه شاخص‌های خشکسالی

نتایج پایش خشکسالی بر اساس شاخص SPI

با توجه به جدول ۵ براساس شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه، تعداد ماه‌های خشک و تعداد ماه‌های مرطوب

بر پایه نتایج (شکل ۳-ب) مقدار بارش بر اساس سناریوی SSP2.4-5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل و اکتبر نسبت به دوره پایه کاهش و در ماه‌های مارس، سپتامبر، نوامبر و دسامبر نسبت به دوره پایه روند افزایشی دارد. بر اساس سناریوی SSP5.8-5 در ماه‌های فوریه، مارس و نوامبر بارش نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و در سایر ماه‌های دارای بارندگی روند نزولی دارد. به طور کلی میانگین بارش آتی در سه دهه دوره آتی ۱۱ درصد بر مبنای سناریوی SSP2.4-5 و ۱۸ درصد بر مبنای سناریوی SSP5.8-5، نسبت به دوره پایه افزایش نشان

تعداد ماه‌های نرمال در در دوره آتی بر اساس سناریوی SSP2.4-5 نسبت به دوره پایه افزایش و بر اساس سناریوی SSP5.8-5 نسبت به دوره پایه مقدار کمی کاهش داشته است. همچنین تغییری در ماه‌های خشک، نرمال و مرطوب به ازای تغییر سناریوهای مذکور مشاهده نگردید.

نسبت به دوره پایه افزایش و تعداد ماه‌های نرمال در دوره آتی بر اساس سناریوهای SSP 2.4-5 و SSP 5.8-5 نسبت به دوره پایه کاهش داشته است؛ در حالی که بر اساس شاخص SPEI تعداد ماه‌های خشک در دوره آتی بر اساس هر دو سناریو نسبت به دوره پایه کاهش و تعداد ماه‌های مرطوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه تغییر چندانی نداشته و یک واحد (ماه) افزایش داشته است.

جدول ۵- خصوصیات مقادیر مورد بررسی در مقیاس زمانی مختلف در دوره پایه و آتی با شاخص های SPI و SPEI

Table5- Characteristics of the investigated values in different time scales in the base and future periods with SPI and SPEI indices

SPEI		SPI			آماره	مقیاس زمانی
دوره آتی		دوره پایه	دوره آتی			
SSP585	SSP245		SSP585	SSP245		
-2	-2	-2.17	-3.36	-3.36	-2.24	حداقل
2.3	2.3	2.03	1.94	1.94	2.2	حداکثر
119	119	124	109	109	104	تعداد ماه‌های خشک
119	119	117	116	116	97	تعداد ماه‌های مرطوب
111	111	108	124	124	148	تعداد ماه‌های نرمال
-1.97	-1.97	-3.21	-3.22	-3.22	-3.61	حداقل
2.64	2.64	2.24	2.12	2.12	2.52	حداکثر
112	112	104	105	105	105	تعداد ماه‌های خشک
112	112	102	105	105	106	تعداد ماه‌های مرطوب
131	131	149	145	145	144	تعداد ماه‌های نرمال

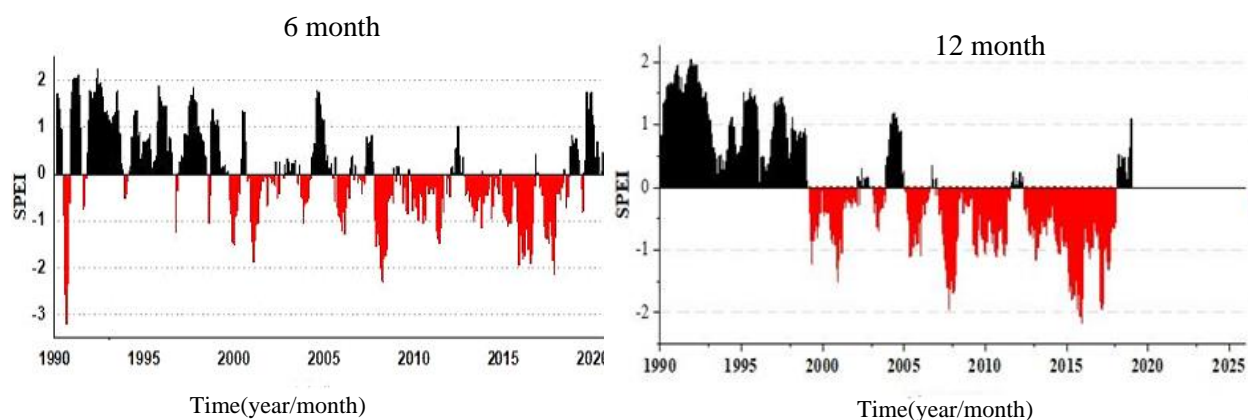
و بلندمدت (۶ و ۱۲ ماهه) در دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۹۰) در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۵ دوره‌های ترسالی عمدتاً در دهه اول دوره پایه رخ داده‌اند به طوری که در مقیاس ۱۲ ماهه در دهه اول دوره پایه به طور کامل ترسالی رخ داده است. در دو دهه دوم دوره پایه خشکسالی‌ها با تداوم زیاد به ویژه در مقیاس ۱۲ ماهه رخ داده است و شدیدترین خشکسالی در مقیاس شش‌ماهه در دسامبر سال ۱۹۹۱ رخ داده است و شدیدترین دوره ترسالی در ماه نوامبر ۲۰۰۵ رخ داده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود فراوانی دوره‌های مرطوب و خشک در مقیاس کوتاه‌مدت (۶ ماهه)

### نتایج پایش خشکسالی بر اساس شاخص SPEI

با توجه به اینکه شاخص مبتنی بر بارندگی نظیر SPI نمی‌تواند اثر افزایش دما را برای نوسانات اقلیمی در نظر بگیرند و از طرفی با توجه به افزایش دما به مقدار ۰/۷۴ و ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد بر اساس سناریوهای SSP2.4-5 و SSP5.8-5 نسبت به دوره پایه (شکل ب)، در ادامه این تحقیق از شاخص SPEI به عنوان یک شاخص مناسب برای بررسی پیامدهای ناشی از گرمایش جهانی در شرایط خشکسالی در ایستگاه مورد بررسی استفاده شده است. از این رو در ادامه نتایج پایش خشکسالی بر اساس شاخص SPEI برای مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت

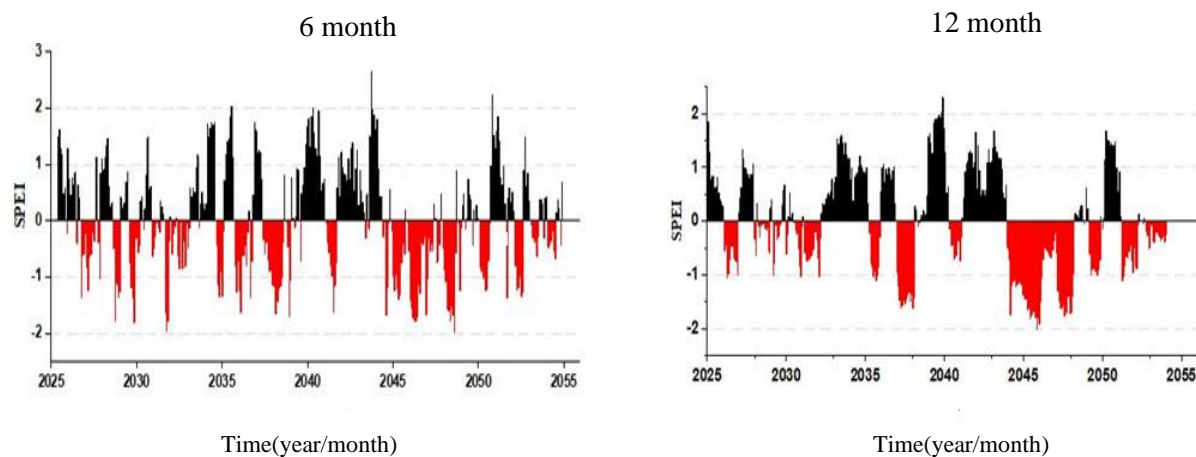
مقیاس زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش و تداوم این دوره‌ها افزایش می‌یابد. در دوره آتی (۲۰۵۵-۲۰۲۵) تکرار دوره‌های خشکسالی‌ها باتداوم بالا نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. همچنین تعداد ماه‌های خشک در دوره آتی براساس هر دو سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره پایه کاهش قابل توجهی می‌یابد. تعداد ماه‌های نرمال و مرطوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمی افزایش می‌یابد. شدیدترین خشکسالی با تداوم زیاد در دوره آتی از سال ۲۰۴۵ تا ۲۰۵۵ پیش‌نگری می‌شود.

نسبت به مقیاس زمانی (۱۲ ماهه) زیاد می‌باشد. همچنین با افزایش مقیاس زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش می‌یابد. از طرفی تداوم این دوره‌ها افزایش می‌یابد. در ادامه بر اساس میانگین مدل‌های مورد بررسی و تحت سناریوهای SSP2.4-5 و SSP5.8-5 سری زمانی شاخص SPEI در دوره آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۵) محاسبه گردید و نمودار آن مطابق شکل‌های ۵ و ۶ ترسیم گردید. براساس شکل‌های ذکر شده و مشابه دوره پایه بر اساس هر دو سناریو با افزایش



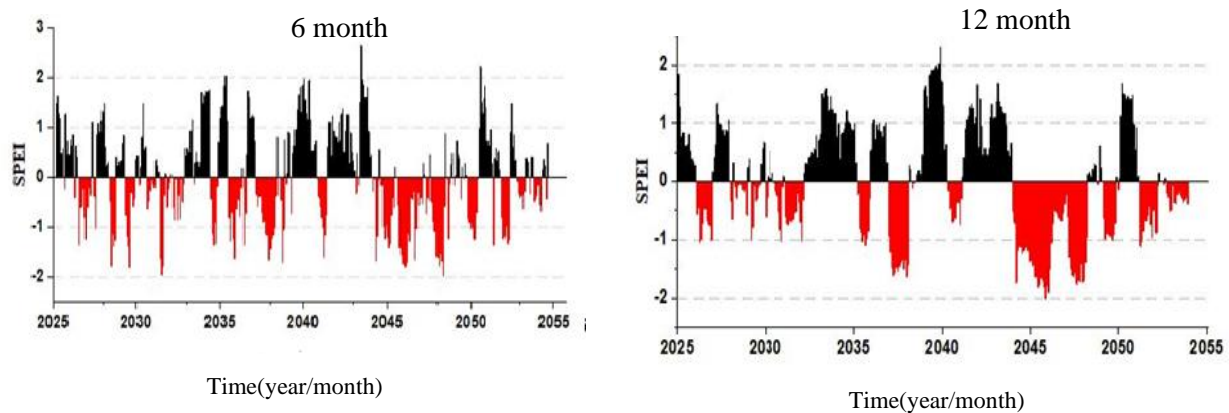
شکل ۴- سری زمانی شاخص بارش-تبخیر و تعرق استانداردشده در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه

Figure 4- Time series of potential evaporation and transpiration index in the base period (1990-2020) in time scales 6 and 12 months



شکل ۵- سری زمانی شاخص بارش-تبخیر و تعرق استانداردشده (SPEI) در دوره آینده (۲۰۲۵-۲۰۵۵) در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه بر اساس سناریوی SSP2.4-5

Figure 5- Time series of potential evaporation and transpiration index (SPEI) in the future period (2025-2055) in time scales 6 and 12 months based on SSP2.4-5 scenario



شکل ۶- سری زمانی شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در دوره آینده (۲۰۲۵-۲۰۵۵) در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۶ ماهه براساس سناریوی SSP5.8-5

Figure 6- Time series of potential evaporation and transpiration index (SPEI) in the future period (2025-2055) in time scales 12 and 6 months using SSP5.8-5scenario

هر دو سناریوی SSP2.4-5 و SSP5.8-5 در تعدادی از ماه‌ها نسبت به دوره پایه روند کاهشی و در تعدادی روند افزایشی دارد که مشابه نتایج پژوهش (Zare abyane et al., 2015) در استان همدان می‌باشد. با توجه به اینکه میانگین بارش در سه دهه دوره آبی ۱۱ درصد بر مبنای سناریوی SSP2.4-5 و ۱۸ درصد بر مبنای سناریوی SSP5.8-5، نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و میانگین دما هم بر اساس سناریوهای SSP2.4-5 و SSP5.8-5 به ترتیب ۰/۷۴ و ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و از طرفی با در نظر گرفتن این موضوع که شاخص‌های مبتنی بر بارندگی نظیر SPI نمی‌توانند اثر افزایش دما را برای نوسانات اقلیمی در نظر بگیرند، لذا از شاخص SPEI برای پایش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه و یکساله برای دوره‌های پایه و آبی استفاده گردید. نتایج نشان داد فراوانی دوره‌های مرطوب و خشک در مقیاس کوتاه‌مدت (۶ ماهه) نسبت به مقیاس زمانی (۱۲ ماهه) زیاد می‌باشد و با افزایش مقیاس زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش و تداوم این دوره‌ها افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش Rahnama و همکاران (۲۰۲۳) در استان فارس نیز نشان داد که افزایش تداوم خشکسالی و فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب به ترتیب با افزایش

## بحث

بررسی نحوه تغییر شرایط خشکسالی بر اساس تغییرات اقلیمی از جنبه‌های گوناگون دارای اهمیت است. زیرا در بسیاری از برنامه‌های بلندمدت لازم است چشم‌اندازی از وضعیت آبی بارندگی و دوره‌های خشکسالی و ترسالی در منطقه ترسیم گردد. در این تحقیق ریزمقیاس‌نمایی شرایط اقلیمی آبی در ایستگاه سینوپتیک قاین با اجرای مدل ۵ GCMS شامل ACCESS-ESM1-5، CNRM-، MRI-ESM2-0، HadGEM3-GC31-LL، CM6-1، MPI ESM 1-2 -L-R بر مبنای سناریوهای انتشار SSP2.4-5 و SSP5.8-5 در دوره آبی (۲۰۲۵-۲۰۵۵) انجام گردید. در ادامه وضعیت خشکسالی در دوره آبی تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های SPEI و SPI بررسی گردید که نتایج آن به صورت زیر می‌باشد: با توجه به نتایج به دست آمده در ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG (جدول ۴) و تطابق بالا بین نمودارهای میانگین مشاهداتی و ریزمقیاس‌شده، این مدل دارای عملکرد مناسبی در ریزمقیاس‌نمایی بارش و دما برای دوره آبی می‌باشد که بر اساس نتایج آن دمای میانگین ریزمقیاس‌سازی شده در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه روند صعودی دارد. همچنین مقدار بارش بر اساس

(۶ ماهه) نسبت به مقیاس زمانی (۱۲ ماهه) زیاد می‌باشد و با افزایش مقیاس زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش می‌یابد. از طرفی تداوم این دوره‌ها افزایش می‌یابد. تعداد ماه‌های خشک در دوره آتی بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره پایه کاهش قابل توجهی می‌یابد و تعداد ماه‌های نرمال و مرطوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمی افزایش می‌یابد. شدیدترین خشکسالی با تداوم زیاد در دوره آتی از سال ۲۰۴۵ تا ۲۰۵۵ پیش‌نگری می‌شود. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به منظور اعمال دقیق‌تر فرآیند تبخیر و تعرق، از شاخص اصلاح‌شده SPEI که در آن رطوبت خاک نیز جز پارامترهای مؤثر بر مقدار SPEI می‌باشد، استفاده شود. همچنین در مطالعات آتی از چندین ایستگاه سینوپتیک در اقلیم‌های متفاوت استفاده شود که در این تحقیق، به دلیل محدودیت‌های زمانی و عدم دسترسی به داده‌های موردنیاز از داده‌های یک ایستگاه استفاده گردید.

**سپاسگزاری:** از مدیریت مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی به دلیل در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات تشکر و قدردانی می‌گردد.

## References

- Abadeh, M., & Khosrowshahi, M. (2021). Assessment and drought monitoring using Standardized Precipitation (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration (SPEI) Indices in Hormozgan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(4), 718-732. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125248> (In Persian)
- Amirabadizadeh, M., Yaqubzadeh, M., Hashemi, S., & Khozimejad, H. (2019). Assessment linear and data-driven models in downscaling of precipitation and temperature in South Khorasan province. *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, 2(1), 68 - 82 (In Persian)

مقیاس‌های زمانی رابطه مستقیم و معکوس دارد که مشابه یافته‌های این پژوهش است. شدت خشکسالی‌ها در دوره آتی نسبت به دوره پایه تغییر چندانی پیدا نمی‌کند به طوریکه حداکثر مقدار شاخص SPEI ۲- و در محدوده خیلی‌شدید مشابه دوره پایه می‌باشد. در دوره آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۵) تکرار دوره‌های خشکسالی با تداوم بالا نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. به علاوه تعداد ماه‌های خشک در دوره آتی بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره پایه کاهش قابل توجهی می‌یابد و تعداد ماه‌های نرمال و مرطوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمی افزایش می‌یابد. شدیدترین خشکسالی با تداوم زیاد در دوره آتی از سال ۲۰۴۵ تا ۲۰۵۵ پیش‌نگری می‌شود.

## نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد دمای میانگین ریزمقیاس‌سازی شده در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه روند افزایشی دارد، مقدار بارش بر اساس هر دو سناریو در بعضی از ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش و در بعضی از ماه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد فراوانی دوره‌های مرطوب و خشک در مقیاس کوتاه‌مدت

- Ashrafzade, A., Salehpoor, J., & Sharifi, A. (2022). Investigating the Effects of Climate Change on Meteorological Drought Characteristics of Hablehrood Basin Using the HADCM3 General Circulation Model and the SPI and DI Index. *Human & Environment*, 20(2), 217-233. (In Persian)
- Azareh, A., Rafiei Sardooi, E., & Jafari Gadaneh M. (2021). Investigating the Effect of Climate Change on Future Temperature, Precipitation, and Droughts Using BNU-ESM and HadGEM2. Models. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(31), 95-110. <https://doi.org/10.22052/DEEJ.2021.10.31.51> (In Persian)
- Bazrafshan, O., Mohseni Saravi, M., Malekian, A., & Moeini A. (2011). A study on drought

- characteristics of Golestan Province using Standardized Precipitation Index (SPI). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 18 (3):395-407. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2011.102169> (In Persian)
- Estoque, R. C., Ooba, M., Togawa, T., & Hijioka, Y. (2020). Projected land-use changes in the Shared Socioeconomic Pathways: Insights and implications. *Ambio*, 49(12): 1972-1981. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01338-4>
- Farrokhzadeh, B., Choobeh, S., & Bazrafshan, O. B. (2020). Assessing the climate change effects on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), case study: Latian dam [Research]. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8(3), 59-72. <http://jircsa.ir/article-1-398-en.html> (In Persian)
- Hajiabadi, F., Hassanpour, F., Yaghoobzadeh, M., & Hammami, M. (2020). Projection of agricultural drought using fifth IPCC assessment report data (Case study: Birjand Region). *Journal of Agricultural Meteorology*, 8(1), 51-61 <https://doi.org/10.22125/AGMJ.2020.221273.1091> (In Persian)
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., & Vanyarkho, O. (1996). Monitoring the drought using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, 1999; 80 (3), 429-438 [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2)
- Issaharou, Matchi, I., Habou, R., Moussa Mamoudou, B., Idrissa, S., Saley, K., Mahamane, A., & Saadou, M. (2021). Assessment of Drought Characteristics under Changing Climatic Conditions using SPI and SPEI Indices in Semi-Arid Environment of Southeastern Niger. *International Journal of Environment and Climate Change*, 11, 146-157. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2021/v11i1030502>
- Jafari, G., Shahkooeei, E., & Ghanghermeh, A. (2019). North Khorasan Province HadCM3 droughts predicted by models and indicators of SPI and RDI. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 8(30), 159-174. <https://doi.org/10.30488/GPS02019.85842> (In Persian)
- Kheyri, R., Mojarrad, M., Masompour, J., & Farhadi, B. (2021). Evaluation of drought changes in Iran using SPEI and SC-PDSI. *Journal of Spatial Planning*, 25(1), 143-174. (In Persian)
- Kim, B. S., Chang, I. G., Sung, J. H., & Han, H. J. (2016). Projection in Future Drought Hazard of South Korea Based on RCP Climate Change Scenario 8.5 Using SPEI. *Advances in Meteorology*, 2016(1), 4148710. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2016/4148710>
- Lloyd-Hughes, B., & Saunders, M.A. (2002). A drought climatology for Europe. *International Journal Climatology*, 22: 1571-1592. <https://doi.org/10.1002/joc.846>
- McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the Eighth Conference on applied Climatology. *American Meteorological Society, Boston*, 22(17), 179-184.
- Mishra, A.K., & Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- O'Neill, B. C., Krieger, E., Ebi K. L., Kemp Benedict, E., Riahi, K., Rothman D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren D.P., Birkmann, J., Kok, K., & Levy M. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*. 42: 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- Panahi, H. r., Montaseri, H., zadeh, A. H., & Khalili, R. (2023). Investigating the effect of climate change on temperature and precipitation using the LARS-WG model (case study: Bashar river basin). *Journal of*

- Environmental Research and Technology*, 7(12), 129-142. (In Persian)
- Pirnia, A., Golshan, M., Bigonah, S., & Solaimani, K. (2018). Investigating the drought characteristics of Tamar basin (upstream of Golestan Dam) using SPI and SPEI indices under current and future climate conditions. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 5(1), 215-228. <https://doi.org/10.22059/IJE.2018.239226.689>
- Rahnama, S., Shahidi, A., Yaghoobzadeh, M., & Mehran, A. (2023). Investigating the drought trend using the modified SPEI and MSPI indices in different time scales (case study: Fars Province). *Journal of Climate Change Research*, 4(13), 89-104. <https://doi.org/10.30488/CCR.2023.393409.1125>
- Rajaie, f. (2022). Drought forecasting under the approach of future climate change (Case study: Qarakhil). *Journal of Environmental Science Studies*, 7(2), 4990-5001. <https://doi.org/10.22034/JESS.2022.330098.1724>
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K.V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Fujimori, S., Streffer, J., Hasegawa, T., Marangoni, G., & Krey, V. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nature Climate Change*, 8(4), 325-332.
- Saeidipour, M., Radmanesh, F., Eslamian, S., & Sharifi, M. R. (2019). Regionalization Analysis of SPI and SPEI Drought Indices for Karoon Basin. *Journal of Water and Soil Science*, 23(2), 397-415. <https://doi.org/10.29252/jstnar.23.2.397> (In Persian)
- Samti, M., Sanainejad, S. H., Kahraman, B., & Rivaz, F. (2019). Spatio-temporal prediction of drought using SPEI index in north-east of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 26(4), 115-133. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.15898.3116> (In Persian)
- Stathi, E., Kastridis, A., & Myronidis, D. (2023). Analysis of Hydrometeorological Trends and Drought Severity in Water-Demanding Mediterranean Islands under Climate Change Conditions. *Climate*, 11(5), 106. <https://www.mdpi.com/2225-1154/11/5/106>
- Sayari, N., Alizadeh, A., Bannayanaval, M., FaridHosseini, A.R., & Hessami Kermani, M.R. (2012). Drought Monitoring under Climate Change Conditions in Kashafrood Basin (Mashad Station) in Future Periods Using HadCM3 Model under A2 and B2 Emission Scenarios. *Journal of Climate Research*, 2(7), 21-42 (In Persian)
- van Pelt, S.C., & Swart, R.J. (2011). ClimateChange Risk Management in Transnational River Basins: The Rhine. *Water Resources Management* 25, 3837-3861. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9891-1>
- Vicente –Serrano, S.M., Begueria, S., & Lopez –Moreno, J.I (2010). A multi –scalar drought index sensitive e to global warming: the Standardized precipitation Evapotranspiration Index –SPEI. *Journal of Climate*, 23(7):1696-1718 . <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Zare abyane, H., Ghobaie sogh, M. & Mosaedi, A. (2015). Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the, Effect of Climate Change. *Journal of water and soil*, 29(2), 374-392. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.36472>

## The role of social capital in strengthening local land governance: A case study of microcredit funds in Bakharz rural communities

Seyyed Amir Hossein Garakani<sup>1</sup>, Mehdi Ghorbani<sup>2\*</sup>, Ahmad Naderi<sup>3</sup>, Sajjad Amiri<sup>4</sup>, Majid Rahimi<sup>5</sup>

1. Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Department of Arid and Mountainous Areas Rehabilitation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Department of Anthropology, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

4. Rural Development Studies Center, Natural Disasters Research Institute, Tehran, Iran

5. Social Business Institute, University of Tehran, Tehran, Iran

\*Corresponding author: [mehghorbani@ut.ac.ir](mailto:mehghorbani@ut.ac.ir)

(Received: 06 October 2024

Revised: 16 November 2024

Accepted: 17 January 2025)

### Extended Abstract

**Introduction:** Social capital plays a significant role as a key factor in enhancing effective governance and sustainable development in rural communities. Additionally, microcredit funds have been introduced as one of the strategies to emphasize social capital in rural sustainable development projects. Therefore, assessing the impact of development and progress initiatives in rural areas, with a focus on enhancing the social capital of microcredit fund members, is of great importance. Hence, the present study examines the role of social capital among members of rural microcredit funds in the target areas of the rural development and improvement plan in Bakharz County's rural systems, utilizing social network analysis. The primary aim of this study is to identify the impacts of social capital on social relationships, local participation, and changes in governance regimes across four villages in Bakharz County.

**Materials and methods:** The present study is a survey-based research that involves the collection of field data. Social network analysis was employed to examine the relationships among the local community members of microcredit funds in four villages: Arzaneh, Qaleh Now Aliyah, Nasratabad, and Nobahar Gholaman in the Bakharz County. It also evaluate their social capital before and after the implementation of the rural development and improvement plan in the county (2023 and 2024). Data were collected through structured network analysis questionnaires, and sampling was carried out using the Krejcie and Morgan (1970) table, resulting in a total sample size of 181 individuals. Subsequently, the UCINET6 network analysis software was used to calculate macro-level network metrics, including network density, network centralization, reciprocity, link transitivity, and average geodesic distance. To analyze the dynamics of the land governance regime before and after the implementation of the rural development and improvement plan, two metrics- density and centralization- were used, and the governance regimes were identified and analyzed.

**Results and Discussion:** The results showed that increasing social capital leads to improved social relationships and resilience of local communities. The findings indicate age and gender diversity in the studied communities, where the presence of young populations can be considered an advantage for social and economic development. However, gender inequalities and the lack of women's participation in development activities can pose serious challenges for good land governance in these communities. The increase in the network density index and the decrease in the average geodesic distance in this study indicate improved social conditions and increased information flow speed in rural networks after the implementation of the Abadani project and the advancement of rural systems, which helps the entry of new knowledge and innovation. Additionally, the change in the governance regime from a centralized, uncoordinated state to a multi-center system showed better power distribution and increased cohesion in the community. Identifying key actors in social networks and strengthening their cooperation can also improve the social and economic performance of communities and lead to a more effective transition towards good governance. These findings emphasize that social capital is a fundamental factor in improving governance and reducing social inequalities.

**Conclusion:** The findings demonstrate that increased social capital following the implementation of the rural development and improvement plan in Bakharz County's four studied villages has not only contributed to improved governance but could also serve as a suitable model for other rural areas. Therefore, it is recommended that developmental programs in rural regions focus more on strengthening social capital to achieve good and sustainable land governance. Furthermore, the transition from a centralized governance regime to a polycentric one—recognized as the most efficient form of governance—stands out as one of the significant achievements of implementing the rural development plan due to enhanced participatory culture and power distribution among rural communities facilitated by microcredit funds. Special attention to empowering women and youth can further improve the social and economic conditions within these communities.

**Keywords:** Local Resilience, Social Participation, Innovation in Rural Areas, Empowerment, Environmental Sustainability

Citation: Garakani, S.A.H., Ghorbani, M., Naderi, A., Amiri, S., & Rahimi, M. (2025). The role of social capital in strengthening local land governance: A case study of microcredit funds in Bakharz rural communities. *Integrated Watershed Management*, 5(3), 53-68. doi= 10.22034/iwm.2025.2042339.1177

### 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 سرمایه اجتماعی در تقویت حکمرانی محلی سرزمین: مطالعه موردی صندوق‌های

### اعتباری خرد در جوامع روستایی شهرستان باخرز

سید امیرحسین گرگانی<sup>۱</sup>، مهدی قربانی<sup>۲\*</sup>، احمد نادری<sup>۳</sup>، سجاد امیری<sup>۴</sup>، مجید رحیمی<sup>۵</sup>

۱. گروه معماری و شهرسازی، دانشکده شهرسازی، دانشگاه آزاد تهران مرکز، تهران، ایران

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

۳. گروه انسان‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. مرکز مطالعات توسعه روستایی، پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران، ایران

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

\*نویسنده مسئول: [mehghorbani@ut.ac.ir](mailto:mehghorbani@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

#### چکیده مبسوط

**مقدمه:** سرمایه اجتماعی به عنوان یک عامل کلیدی در ارتقای حکمرانی مؤثر و توسعه پایدار در جوامع روستایی اهمیت زیادی دارد. همچنین یکی از راهکارهای توجه به سرمایه اجتماعی در طرح‌های توسعه پایدار روستایی، صندوق‌های اعتباری خرد معرفی گردیده‌اند. لذا سنجش اثرگذاری اجرای طرح‌های آبادانی و پیشرفت مناطق روستایی با تاکید بر ارتقای سرمایه اجتماعی اعضای صندوق‌های اعتباری خرد بسیار حائز اهمیت است. از این رو پژوهش حاضر به بررسی نقش سرمایه اجتماعی اعضای صندوق‌های اعتباری خرد روستایی مناطق هدف طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی شهرستان باخرز استان خراسان رضوی در حکمرانی خوب سرزمین مناطق روستایی با استفاده از روش تحلیل شبکه اجتماعی پرداخته است. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی تأثیرات سرمایه اجتماعی بر روابط اجتماعی، مشارکت محلی و تغییرات در رژیم‌های حکمرانی در چهار روستای شهرستان باخرز بوده است.

**مواد و روش‌ها:** پژوهش حاضر از نوع پژوهش پیمایشی و به صورت گردآوری داده‌های میدانی می‌باشد. در این پژوهش از روش تحلیل شبکه اجتماعی برای بررسی روابط بین جامعه محلی عضو صندوق‌های اعتباری خرد چهار روستای ارزنه، قلعه‌نو علیا، نصرت‌آباد و نوبهار غلامان در شهرستان باخرز و ارزیابی سرمایه اجتماعی آن‌ها در قبل و بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی این شهرستان (سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) استفاده شد. داده‌ها از طریق پرسشنامه‌های ساختاریافته تحلیل شبکه و نمونه‌گیری بر اساس جدول Morgan و Krejcie (1970) تعداد نمونه ۱۸۱ نفر انجام گردید و سپس با استفاده از نرم‌افزار تحلیل شبکه UCINET<sup>6</sup>، سنجش‌های سطح کلان شبکه شامل تراکم شبکه، تمرکز شبکه، دوسویگی و انتقال‌پذیری پیوندها و میانگین فاصله ژئودزیک محاسبه شدند. سپس به منظور تحلیل پویایی رژیم حکمرانی سرزمین در قبل و بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت روستایی این شهرستان از دو سنجه تراکم و تمرکز استفاده گردید و رژیم‌های حکمرانی شناسایی و تحلیل گردیدند.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که افزایش سرمایه اجتماعی به بهبود روابط اجتماعی و تاب‌آوری جوامع محلی منجر شده است. نتایج حاکی از تنوع سنی و جنسیتی در جوامع مورد مطالعه است، که وجود جمعیت جوان می‌تواند به عنوان یک مزیت در توسعه اجتماعی و اقتصادی تلقی شود. با این حال، نابرابری‌های جنسیتی و کمبود مشارکت زنان در فعالیت‌های توسعه، می‌تواند چالش‌های جدی برای حکمرانی خوب سرزمین در این جوامع ایجاد کند. افزایش شاخص تراکم شبکه و کاهش میانگین فاصله ژئودزیک در این پژوهش نشان‌دهنده بهبود شرایط اجتماعی و افزایش سرعت گردش اطلاعات در شبکه‌های روستایی بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی است که به ورود دانش جدید و نوآوری کمک می‌کند. همچنین، تغییر رژیم حکمرانی از حالت متمرکز ناهماهنگ به نظام چندمرکزی، توزیع بهتر قدرت و افزایش همبستگی در جامعه را نشان داد. شناسایی کنشگران کلیدی در شبکه‌های اجتماعی و تقویت همکاری‌های آنان نیز می‌تواند به بهبود عملکرد اجتماعی و اقتصادی جوامع کمک کند و به انتقال مؤثرتر به سمت حکمرانی خوب منجر شود. این یافته‌ها تأکید دارد که سرمایه اجتماعی از عوامل اساسی در بهبود حکمرانی و کاهش نابرابری‌های اجتماعی به شمار می‌آید.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سرمایه اجتماعی بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی شهرستان باخرز در چهار روستای مورد مطالعه علاوه بر اینکه به بهبود حکمرانی کمک کرده است، بلکه می‌تواند الگوی مناسبی برای سایر مناطق روستایی باشد. از این رو پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های توسعه‌ای در مناطق روستایی بیشتر بر تقویت سرمایه اجتماعی تمرکز نموده تا بتوان به حکمرانی خوب و پایدار سرزمین دست یافت. همچنین انتقال رژیم حکمرانی به رژیم چندمرکزی که به عنوان کارآمدترین رژیم حکمرانی شناخته می‌شود از مهم‌ترین دستاوردهای اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی در چهار روستای هدف در شهرستان باخرز به دلیل ارتقای فرهنگ مشارکت و همکاری و همچنین توزیع قدرت در بین جوامع روستایی به دلیل ماهیت مشارکتی صندوق‌های اعتباری خرد روستایی بوده است. همچنین، توجه ویژه به توانمندسازی زنان و جوانان می‌تواند به بهبود وضعیت اجتماعی و اقتصادی جوامع کمک کند.

**واژه‌های کلیدی:** تاب‌آوری جوامع محلی، مشارکت اجتماعی، نوآوری در مناطق روستایی، توانمندسازی، پایداری محیطی

**استناد:** گرگانی، س.ا.ح.، قربانی، م.م.، نادری، ا.، امیری، س.؛ و رحیمی، م. (۱۴۰۴). نقش سرمایه اجتماعی در تقویت حکمرانی محلی سرزمین: مطالعه موردی صندوق‌های اعتباری خرد در جوامع روستایی شهرستان باخرز. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۳)، ۶۸-۵۳.

#### 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 قابل دسترس است.

## مقدمه

حکمرانی سرزمین به عنوان رویکردی نوین در مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه پایدار مطرح است (Rodorff *et al.*, 2019). این رویکرد بر مشارکت و همکاری میان ذی‌نفعان مختلف در تصمیم‌گیری‌ها و اجرای طرح‌های توسعه تأکید دارد (Barletti *et al.*, 2020). در واقع، حکمرانی سرزمین به دنبال ایجاد هماهنگی و همسویی میان نهادها و سازمان‌های مختلف درگیر در مدیریت سرزمین است (Lambin *et al.*, 2021; Debonne *et al.*, 2014). در مناطق روستایی، اهمیت حکمرانی سرزمین به دلیل پیچیدگی و تنوع ذی‌نفعان و منافع در این مناطق بیشتر است (Sun *et al.*, 2021; Westin *et al.*, 2024). روستاها به عنوان بخشی از سرزمین، تحت تأثیر تصمیمات و اقدامات متعدد نهادهای مختلف قرار دارند. در این راستا، ایجاد هماهنگی و همکاری میان این نهادها و همچنین مشارکت ساکنان روستایی در فرآیندهای تصمیم‌گیری و اجرا، می‌تواند به ارتقای حکمرانی سرزمین در مناطق روستایی کمک کند (Sabet & Khaksar, 2024).

طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی یکی از مهم‌ترین برنامه‌های توسعه روستایی در کشور است که با رویکرد جامع و یکپارچه به دنبال ارتقای کیفیت زندگی و رفاه ساکنان مناطق روستایی است (Soltani *et al.*, 2024). موفقیت این طرح تا حد زیادی به مشارکت و همکاری ساکنان روستایی و نهادهای درگیر در اجرای آن بستگی دارد. در این راستا، تقویت حکمرانی سرزمین می‌تواند به افزایش اثربخشی و پایداری این طرح‌ها کمک کند.

روش تحلیل شبکه اجتماعی به عنوان ابزاری مؤثر برای سنجش و تحلیل ساختار و الگوهای اعتماد، همکاری و مشارکت میان ذی‌نفعان مطرح است (Nunes & Abreu, 2020). این رویکرد به بررسی روابط و تعامل میان افراد، گروه‌ها و سازمان‌ها می‌پردازد و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد

چگونگی شکل‌گیری و تغییر این روابط ارائه دهد (Ghorbani *et al.*, 2018; Valeri & Baggio, 2021). در حوزه حکمرانی سرزمین، تحلیل شبکه اجتماعی می‌تواند به شناسایی الگوهای همکاری و مشارکت میان نهادهای درگیر در مدیریت سرزمین کمک کند (Bodin *et al.*, 2020). این رویکرد می‌تواند به شناسایی رژیم حکمرانی کمک کند. رژیم حکمرانی به مجموعه‌ای از قواعد و نهادهایی اطلاق می‌شود که نحوه مدیریت یک جامعه را تعیین می‌کند و می‌تواند به صورت متمرکز ناهماهنگ، متمرکز هماهنگ، چندپاره یا چندمرکزی باشد (Rahimi *et al.*, 2022). هر یک از این انواع رژیم حکمرانی تأثیرات متفاوتی بر توزیع قدرت و چگونگی مشارکت عمومی در تصمیم‌گیری‌ها دارند. همچنین می‌تواند به درک بهتر موانع و چالش‌های موجود در ایجاد هماهنگی و همسویی میان این نهادها بپردازد. در نهایت، این رویکرد می‌تواند راهکارهایی برای تقویت همکاری‌های بین‌سازمانی و مشارکت ذی‌نفعان در فرآیندهای تصمیم‌گیری و اجرا ارائه دهد (Jakubeit *et al.*, 2022; Kustepeli *et al.*, 2023).

صندوق‌های اعتباری خرد روستایی با ارائه تسهیلات مالی به روستاییان، به ارتقای معیشت و اشتغال آن‌ها کمک می‌کنند (Akbari & Avazpour, 2022). همچنین با ایجاد فرصت‌های همکاری و تعامل میان اعضا، به تقویت سرمایه اجتماعی در جوامع روستایی می‌پردازند. در واقع، این صندوق‌ها به عنوان نهادهای مشارکتی و مبتنی بر اعتماد، نقش مهمی در بسیج منابع و ایجاد انگیزه میان روستاییان برای مشارکت در فرآیندهای توسعه ایفا می‌کنند (Zhou, 2024).

پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش حکمرانی سرزمین در توسعه پایدار مناطق روستایی پرداخته‌اند. برای مثال، نتایج پژوهش Mohammadi و Khorasani (۲۰۱۵) نشان داد که ایجاد هماهنگی و همکاری میان نهادهای درگیر در توسعه روستایی، می‌تواند به افزایش مشارکت روستاییان در طرح‌های توسعه کمک کند. همچنین، مطالعه Jamini و

نهادهای محلی و برنامه‌ریزی‌های مناسب را به عنوان عوامل کلیدی در تقویت حکمرانی محلی توصیه می‌کنند. به طور کلی، این پژوهش‌ها بر نقش کلیدی سرمایه اجتماعی و نهادهای محلی در بهبود حکمرانی و توسعه پایدار تأکید دارند.

چارچوب نظری این پژوهش بر اساس سه محور اصلی بررسی تأثیر حکمرانی سرزمین و نهادهای مشارکتی بر افزایش سرمایه اجتماعی، تحلیل شبکه‌های اجتماعی به‌عنوان ابزاری برای سنجش و فهم همکاری‌ها و روابط میان ذی‌نفعان و شناسایی الگوهای مشارکت و همکاری در جوامع روستایی به منظور افزایش اثربخشی طرح‌های توسعه در مناطق روستایی شکل گرفته است. این چارچوب نظری، مبنای پژوهش‌های پیشین و یافته‌های موجود را در راستای تقویت حکمرانی محلی و ظرفیت‌سازی در جوامع روستایی تبیین می‌کند.

به علاوه پژوهش‌هایی نیز به نقش کلیدی زنان در ارتقای سرمایه اجتماعی و توانمندی‌های محلی پرداخته‌اند. برای مثال، پژوهش Dar و Shaigojri (۲۰۲۲) نشان داد که مشارکت فعال زنان در برنامه‌های توسعه می‌تواند به تقویت سرمایه اجتماعی منجر شود و این امر منجر به ایجاد نهادهای محلی کارآمدتر گردد. همچنین، در پژوهش Ricciardelli (۲۰۲۳)، بر اهمیت توانمندسازی زنان از طریق آموزش و ظرفیت‌سازی تأکید شده است، که می‌تواند به حس تعلق و مسئولیت اجتماعی در میان زنان روستایی کمک کند و در نهایت به توسعه پایدار در جوامع آنان منجر شود.

پژوهش‌های اخیر به اهمیت سرمایه اجتماعی به عنوان عاملی کلیدی در بهبود حکمرانی و کاهش نابرابری‌های اجتماعی تأکید کرده‌اند. برای مثال، پژوهش Muntaner و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که افزایش سرمایه اجتماعی می‌تواند منجر به تقویت مشارکت اجتماعی و توانمندسازی جوامع شود که در نهایت به بهبود کیفیت حکمرانی و کاهش نابرابری‌های اجتماعی منجر می‌گردد. همچنین،

Jamshidi (۲۰۲۱) به نقش نهادهای مشارکتی مانند صندوق‌های اعتباری خرد در تقویت سرمایه اجتماعی و مشارکت در جوامع روستایی اشاره کردند. در همین راستا، پژوهش‌های متعددی به کاربرد روش تحلیل شبکه اجتماعی برای سنجش و تحلیل ساختار و الگوهای همکاری و مشارکت در حوزه حکمرانی سرزمین اشاره کرده‌اند. به عنوان مثال، مطالعه Abbaszadeh و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از این رویکرد، به بررسی همکاری‌های میان کشاورزان در مدیریت منابع آب در یک منطقه روستایی پرداخته است. این مطالعات نشان می‌دهند که تحلیل شبکه اجتماعی ابزار مناسبی برای درک ساختار و الگوهای همکاری و مشارکت در حوزه حکمرانی سرزمین است. علاوه بر این، پژوهش Sabet و Khaksar (۲۰۲۴) به بررسی تأثیرات سرمایه اجتماعی بر تقویت توانمندی‌های محلی در جوامع روستایی پرداخته و یافته‌های آن‌ها نشان داد که سرمایه اجتماعی می‌تواند به تقویت حکمرانی محلی و ایجاد نهادهای اجتماعی موثر کمک کند. همچنین، پژوهش Peng و همکاران (۲۰۲۰) با تأکید بر اهمیت آموزش و ظرفیت‌سازی در جوامع روستایی بیان کرد که مشارکت فعال روستاییان در فرایندهای مدیریتی، به تقویت حس تعلق و مسئولیت اجتماعی آن‌ها کمک می‌کند و در نهایت منجر به توسعه پایدار خواهد شد. در ادامه، پژوهش Adamowicz و Zwolińska-Ligaj (۲۰۲۰) به بررسی نقش شبکه‌های اجتماعی در توسعه پایدار و تأثیر آن‌ها بر بهبود کیفیت زندگی در روستاها پرداخته است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که سرمایه اجتماعی به عنوان یک عامل کلیدی در ایجاد ساختارهای مؤثر مدیریتی و بهبود همبستگی در جامعه عمل می‌کند. نهایتاً، پژوهش Anthony (۲۰۲۴) به ارزیابی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری مشارکت اجتماعی در جوامع روستایی پرداخته و نتایج آن‌ها نشان داد که هویت محلی و اعتماد اجتماعی دو عامل اساسی در تقویت مشارکت فعال روستاییان محسوب می‌شود. این یافته‌ها تأسیس

این پژوهش به دنبال شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های موجود در راستای تقویت سرمایه اجتماعی از طریق طرح‌های آبادانی و پیشرفت، و همچنین تبیین نقش صندوق‌های اعتباری خرد در ایجاد شبکه‌های حمایتی و همکاری میان اعضاست. تحلیل شبکه‌های اجتماعی به عنوان یک ابزار مناسب در این مطالعه کمک می‌کند تا روابط، اعتماد و همکاری میان اعضای صندوق‌ها و تأثیر آن بر توسعه پایدار در این مناطق مورد ارزیابی قرار گیرد.

بدین منظور در این پژوهش نیز از روش تحلیل شبکه اجتماعی برای سنجش و تحلیل ساختار و الگوهای همکاری و مشارکت میان ذی‌نفعان درگیر در طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی استفاده شده است. هدف اصلی این مطالعه، بررسی میزان و الگوهای اعتماد و مشارکت میان اعضای صندوق‌های اعتباری خرد روستایی در چهار روستای شهرستان باخرز خراسان رضوی است. صندوق‌های اعتباری خرد روستایی به عنوان نهادهای مشارکتی و مبتنی بر اعتماد میان اعضا، نقش مهمی در توسعه روستایی ایفا می‌کنند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

طرح آبادانی و پیشرفت منظومه روستایی شهرستان باخرز در ۳۴ روستای این شهرستان با همکاری بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و پژوهشکده سوانح طبیعی در سال ۱۴۰۲ اجرا شده است. به طوری که بخشی از این طرح راه‌اندازی صندوق‌های اعتباری خرد در هر روستا بوده است (Natural Disasters Research Institute, 2023). در این پژوهش، صندوق‌های اعتباری خرد در چهار روستای شهرستان باخرز واقع در استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این روستاها شامل روستاهای ارزنه، قلعه‌نو علیا، نصرت‌آباد و نوبهار غلامان هستند (شکل ۱). هدف از انتخاب این چهار روستا، بررسی تنوع و تفاوت‌های موجود در ساختار و الگوهای اعتماد و مشارکت میان

مطالعه Pylypenko و همکاران (۲۰۲۳) نیز بر این نکته تأکید کرده که سرمایه اجتماعی می‌تواند شبکه‌های حمایتی را تقویت کرده و فرصت‌های برابر برای گروه‌های آسیب‌پذیر فراهم کند، به طوری که افزایش این سرمایه می‌تواند به کاهش شکاف‌های اجتماعی و ایجاد جامعه‌ای عادلانه‌تر کمک نماید.

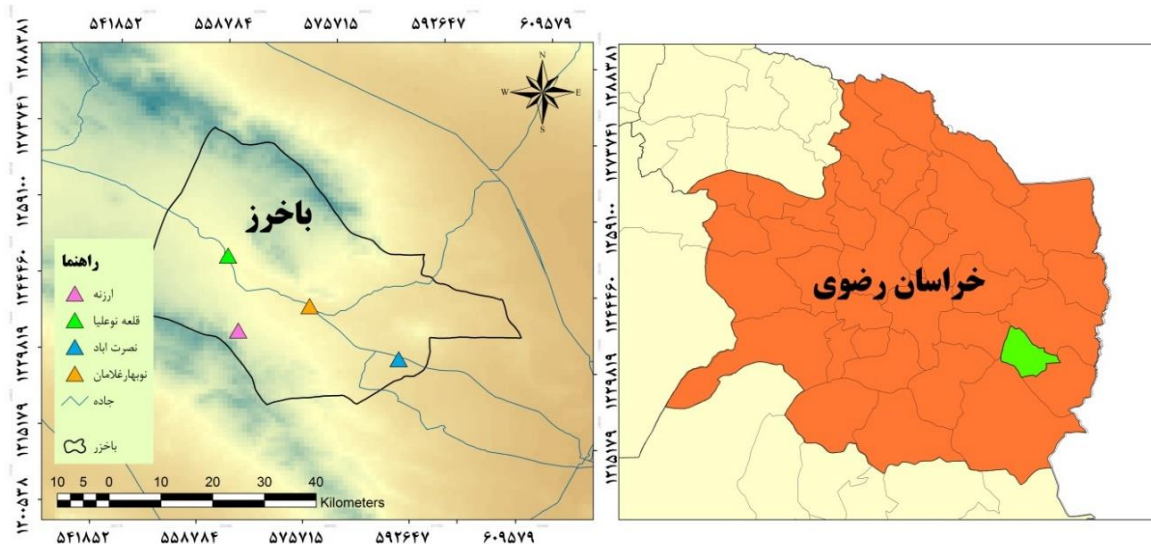
این پژوهش می‌تواند به درک بهتر نقش حکمرانی سرزمین در موفقیت طرح‌های توسعه روستایی کمک کند؛ به‌علاوه راهکارهایی برای تقویت همکاری و مشارکت میان نهادهای درگیر و ساکنان روستایی در اجرای این طرح‌ها ارائه دهد. در نهایت، این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در زمینه توسعه روستایی کمک کند تا با درک بهتر از اهمیت حکمرانی سرزمین، بتوانند راهبردهای مؤثرتری برای تقویت آن در مناطق روستایی اتخاذ کنند. در مجموع، این پژوهش به بررسی نقش حکمرانی سرزمین در موفقیت طرح‌های توسعه روستایی و نقش صندوق‌های اعتباری خرد در تقویت همکاری و مشارکت در جوامع روستایی می‌پردازد. نتایج این پژوهش می‌تواند به درک بهتر چالش‌ها و فرصت‌های موجود در ایجاد هماهنگی و همکاری میان نهادهای درگیر در توسعه روستایی کمک کند و راهنمایی‌های مفیدی را برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در این زمینه ارائه دهد.

پژوهش حاضر به بررسی اثرگذاری اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی بر سرمایه اجتماعی از طریق تحلیل شبکه‌های اعضای صندوق‌های اعتباری خرد روستایی پرداخته است. با وجود اهمیت سرمایه اجتماعی در توسعه پایدار، در بسیاری از جوامع روستایی به ویژه در شهرستان باخرز، چالش‌هایی نظیر کمبود امکانات، عدم دسترسی به منابع و نداشتن همکاری مؤثر میان اعضای جامعه و نهادها وجود دارد. این مشکلات موجب کاهش توانمندی‌های اجتماعی و اقتصادی روستاییان شده و توانایی آن‌ها در مشارکت در فرآیندهای توسعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین،

جمعیت ۴۰۰ نفر، به دلیل موقعیت مرزی و دسترسی به بازارهای افغانستان، فعالیت‌های تجاری و بازرگانی در آن گسترده است. نوبهار غلامان با جمعیت ۳۰۰ نفر نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیم مناسب، بیشتر بر کشاورزی متمرکز است (Natural Disasters Research Institute, 2023). صندوق‌های اعتباری خرد در این چهار روستا به عنوان نهادهای مشارکتی و مبتنی بر اعتماد میان اعضا، نقش مهمی در توسعه اقتصادی و اجتماعی ایفا می‌کنند. بررسی ساختار و الگوهای اعتماد و مشارکت میان اعضای این صندوق‌ها می‌تواند به درک بهتر چگونگی شکل‌گیری سرمایه اجتماعی در جوامع روستایی کمک کند.

اعضای صندوق‌های اعتباری خرد و بررسی اثرگذاری اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی در این روستاها است. این چهار روستا از نظر موقعیت جغرافیایی، جمعیت، معیشت (کشاورزی، دامداری، خدماتی و غیره) و سایر ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی با یکدیگر متفاوت هستند (Natural Disasters Research Institute, 2023).

روستای ارزنه با جمعیت حدود ۲۴۰۰ نفر، به دلیل موقعیت کوهستانی و دسترسی محدود به بازارها، معیشت اصلی ساکنان آن دامداری و کشاورزی است. قلعه‌نو علیا با جمعیت ۴۲۰۰ نفر، به دلیل نزدیکی به شهر باخرز و دسترسی بهتر به خدمات، فعالیت‌های غیرکشاورزی نیز در آن رواج دارد. نصرت‌آباد با



شکل ۱- موقعیت مکانی روستاهای مورد مطالعه در شهرستان باخرز  
Figure 1- Location of the studied villages in Bakharz county

روستا در قبل و بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی بوده است (Ghorbani *et al.*, 2018; Ghorbani *et al.*, 2024). جامعه آماری این پژوهش را اعضای صندوق‌های اعتباری خرد در چهار روستای مورد مطالعه تشکیل داده‌اند. برای تعیین حجم نمونه ابتدا مجموع اعضای صندوق چهار روستا (۳۴۰ نفر) مشخص گردیده و سپس بر اساس جدول Morgan و Krejcie (۱۹۷۰) تعداد نمونه ۱۸۱ نفر انتخاب گردید (جدول ۱).

#### روش تحقیق

در این پژوهش از پرسشنامه محقق‌ساخته برای سنجش میزان و الگوهای اعتماد و مشارکت میان اعضای صندوق‌های اعتباری خرد در چهار روستای مورد مطالعه استفاده شد. این پرسشنامه شامل سؤالات بر اساس وجود یا عدم وجود پیوند مشورت/اعتماد و مشارکت/همکاری و بر اساس شدت رابطه (۰ بدون رابطه تا ۵ رابطه قوی) در زمینه پیوند اعتماد و مشارکت میان اعضای صندوق اعتباری خرد

جدول ۱- مشخصات صندوق‌های اعتباری خرد و تعداد نمونه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of microcredit funds and the number of studied samples

ردیف	نام روستا	تعداد صندوق اعتباری خرد	نام صندوق اعتباری خرد	تعداد اعضا	تعداد نمونه
1	ارزنه	1	صندوق آبادانی و پیشرفت ارزنه	86	46
2	قلعه‌نو علیا	1	صندوق آبادانی و پیشرفت قلعه‌نو علیا	81	46
3	نصرت‌آباد	1	صندوق آبادانی و پیشرفت نصرت‌آباد	85	45
4	نوبهار غلامان	1	صندوق آبادانی و پیشرفت نوبهار غلامان	88	47

شهرستان باخرز، از دو شاخص تراکم و تمرکز شبکه استفاده گردیده و نوع رژیم حکمرانی سرزمین مشخص گردید.

### نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده از مشخصات فردی نمونه آماری مورد مطالعه (جدول ۲)، در روستای ارزنه گروه سنی کمتر از ۴۰ و ۴۰ تا ۵۰ سال، روستای قلعه‌نو علیا گروه سنی ۴۰ تا ۵۰ سال و در دو روستای نصرت‌آباد و نوبهار غلامان گروه سنی کمتر از ۴۰ سال دارای بیشترین درصد فراوانی بوده‌اند. همچنین به جز روستای نوبهار غلامان در سه روستای دیگر گروه مردان بیشتر از زنان بوده است. از نظر تعداد اعضای خانوار نیز در سه روستای ارزنه، قلعه‌نو علیا و نوبهار غلامان تعداد اعضای خانوار بیشتر از ۵ نفر و در روستای نصرت‌آباد تعداد اعضای خانوار کمتر از ۳ نفر دارای بیشترین میزان فراوانی بوده‌اند.

برای تحلیل داده‌های گردآوری شده از روش تحلیل شبکه اجتماعی استفاده شد. در این روش، ابتدا ماتریس‌های اعتماد و مشارکت میان اعضای صندوق‌های اعتباری خرد در هر چهار روستا بر اساس داده‌های پرسشنامه تشکیل شد. این ماتریس‌ها برای دو بازه زمانی قبل و بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی تهیه شد. سپس، با استفاده از نرم‌افزار تحلیل شبکه UCINET<sup>6</sup>، شاخص‌های سطح کلان مانند تراکم شبکه، تمرکز شبکه، دوسویگی و انتقال‌پذیری پیوندها و شاخص سطح خرد مرکزیت درجه محاسبه شدند (Serrano & Esparcia, 2023; Avazpour et al., 2024). این شاخص‌ها برای بررسی ساختار و الگوهای اعتماد و مشارکت میان اعضای صندوق‌های اعتباری خرد مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین به منظور تحلیل نظام حکمرانی سرزمین و تأثیر سرمایه اجتماعی موجود در روستاهای مورد مطالعه و همچنین بررسی تأثیر اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی

جدول ۲- مشخصات فردی پاسخگویان در روستاهای مورد مطالعه

Table 2- Individual characteristics of the respondents in the studied villages

روستا	سن (درصد)			جنسیت (درصد)		تعداد اعضای خانوار (درصد)			
	>60	50-60	40-50	40>	مرد	زن	<3	3-5	>5
ارزنه	2.65	22.93	37.21	37.21	54.55	45.45	2.33	39.53	58.14
قلعه نو علیا	0	5	50	45	75	25	5	40	55
نصرت‌آباد	13.33	4.45	31.11	51.11	57.78	42.22	62.22	22.22	15.56
نوبهار غلامان	10.87	8.69	15.22	65.22	46.81	53.19	15.38	28.21	56.41

و پیشرفت منظومه روستایی شهرستان باخرز بوده است. از طرفی نتایج شاخص‌های دوسویگی و انتقال‌پذیری روابط نیز نشان داد که بعد از اجرای طرح مذکور، میزان این شاخص‌ها در هر چهار روستای در دو شبکه اعتماد و مشارکت به میزان قابل توجهی افزایشی بوده که نشان‌دهنده افزایش روابط دوسویه و متقابل و همچنین افزایش روابط پلی در شبکه‌های مورد مطالعه بوده است. در نهایت کاهش میزان شاخص میانگین فاصله ژئودزیک در شبکه‌های مورد بررسی نشان‌دهنده کاهش فاصله بین افراد در روستا و در نتیجه افزایش سرعت گردش اطلاعات و دانش اکوسیستمی در شبکه‌های روستایی و همچنین بهبود شرایط جهت ورود دانش جدید و نوآوری به روستاها بوده است (جدول ۳).

در جدول ۳ نتایج مربوط به محاسبه سنجه‌های سطح کلان شبکه در روستاهای مورد مطالعه آورده شده است. بر اساس نتایج مربوط به شاخص تراکم شبکه، در هر چهار روستا میزان این شاخص به میزان قابل توجهی بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی شهرستان باخرز در هر دو شبکه اعتماد و مشارکت افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش سرمایه اجتماعی و در نتیجه افزایش تاب‌آوری جامعه محلی مورد مطالعه در مواجهه با تغییرات محیطی بوده است. همچنین محاسبه شاخص تمرکز نیز نشان داد که در هر دو حالت تمرکز ورودی و خروجی شبکه، میزان این شاخص بعد از اجرای طرح کاهش یافته بوده که نشان‌دهنده توزیع قدرت و همچنین همبستگی بیشتر بین اعضای صندوق‌های اعتباری خرد در طرح آبادانی

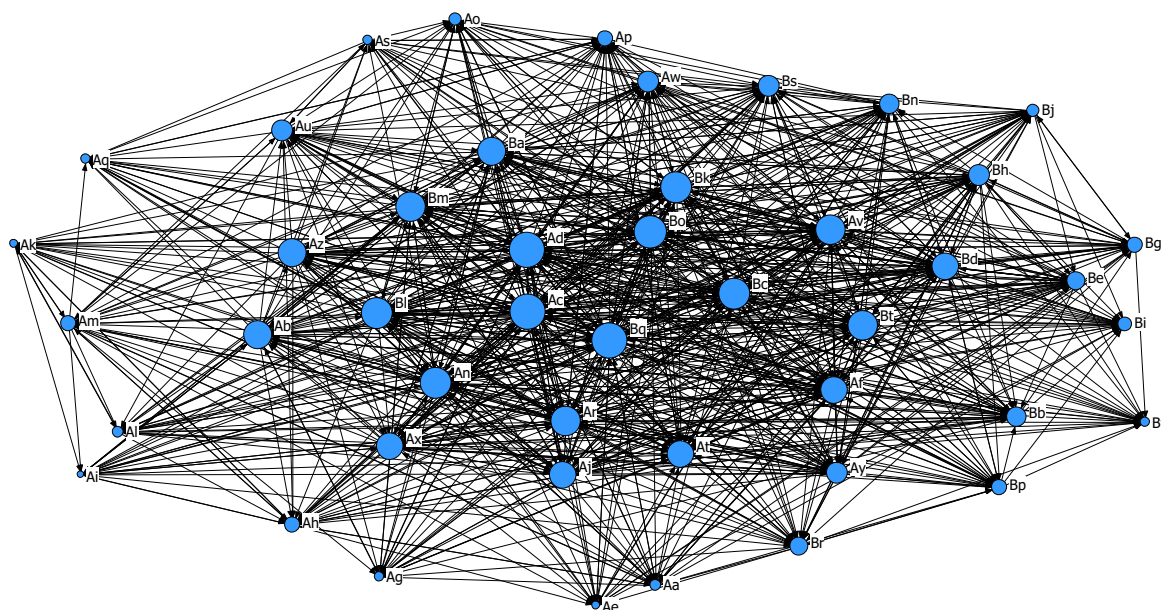
جدول ۳- سنجه‌های سطح کلان شبکه

Table 3- Network macro level indices

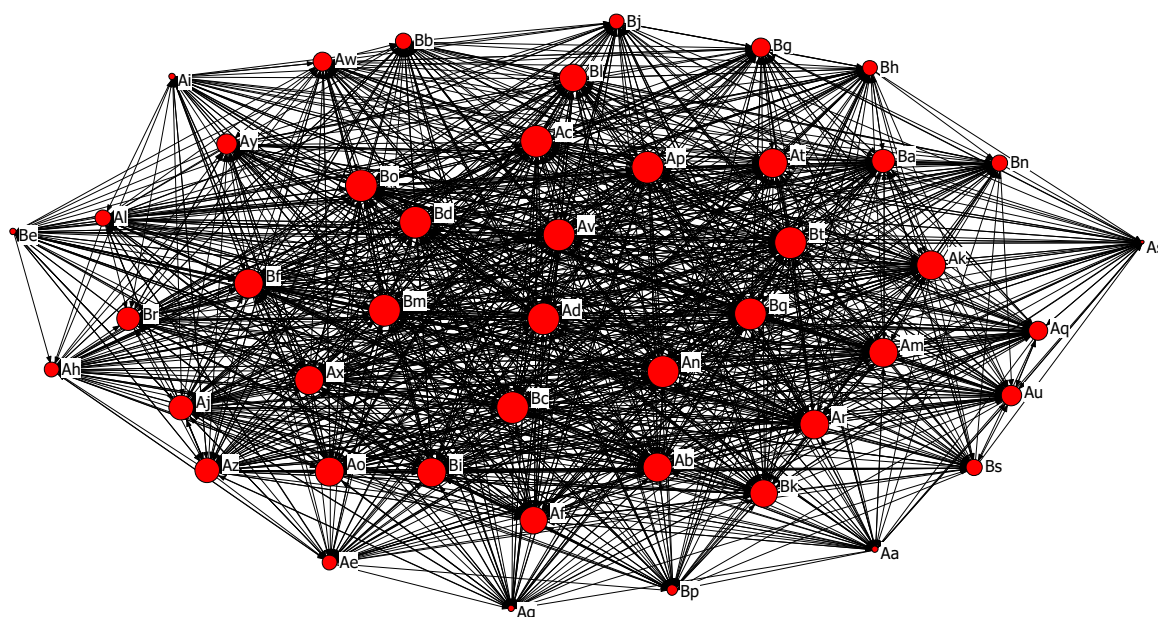
شبکه‌ها	تراکم (درصد)	تمرکز درجه (درصد)		دوسویگی (درصد)	انتقال‌پذیری (درصد)	میانگین فاصله ژئودزیک
		درجه ورودی	خروجی			
<b>روستای ارزنه</b>						
شبکه اعتماد قبل از اجرای طرح	48.7	18.37	52.44	33.86	33.4	1.49
شبکه اعتماد بعد از اجرای طرح	71.8	15.21	28.84	57.92	52.41	1.28
شبکه مشارکت قبل از اجرای طرح	46.6	13.68	54.57	30.76	28.96	1.52
شبکه مشارکت بعد از اجرای طرح	75.1	11.85	25.48	61.54	60.82	1.23
<b>روستای قلعه‌نو علیا</b>						
شبکه اعتماد قبل از اجرای طرح	35.2	17.57	49.26	21.84	18.03	1.66
شبکه اعتماد بعد از اجرای طرح	54	25.17	25.17	37.52	29.76	1.46
شبکه مشارکت قبل از اجرای طرح	34.1	16.27	62.58	22.22	17.62	1.68
شبکه مشارکت بعد از اجرای طرح	52.4	24.37	26.81	37.1	28.19	1.46
<b>روستای نصرت‌آباد</b>						
شبکه اعتماد قبل از اجرای طرح	47.3	46.90	53.87	32	31.92	1.4
شبکه اعتماد بعد از اجرای طرح	84.5	13.53	8.88	73.01	64.67	1.15
شبکه مشارکت قبل از اجرای طرح	46	27.32	29.64	34	25.45	1.54
شبکه مشارکت بعد از اجرای طرح	82	11.46	16.11	68.71	60.79	1.18
<b>روستای نوبهار غلامان</b>						
شبکه اعتماد قبل از اجرای طرح	23	16.49	40.93	14.52	14.34	1.72
شبکه اعتماد بعد از اجرای طرح	53.1	10.2	47.96	36.39	42.56	1.3
شبکه مشارکت قبل از اجرای طرح	31.8	7.47	69.66	16.61	21.1	1.63
شبکه مشارکت بعد از اجرای طرح	82.5	11.2	17.86	67.2	72.05	1.17

مرکزیت درجه تنظیم گردیده است. به طوری که کنشگران دارای اندازه بزرگتر در نمودار دارای مرکزیت درجه بیشتر و در نتیجه قدرت و نفوذ بیشتری در شبکه‌های مورد مطالعه بوده‌اند. شناسایی این کنشگران در جوامع محلی مورد مطالعه به منظور پیشبرد اهداف طرح و اجرای گام‌های بعدی بسیار ضروری بوده و می‌تواند اجرای طرح را در جهت رسیدن به حکمرانی خوب سرزمین یاری نماید.

به منظور نمایش موقعیت کنشگران در شبکه‌های اعتماد و مشارکت در روستای ارزنه (برای نمونه)، گراف‌های شبکه نیز در شکل ۲ ترسیم گردیدند. بدین ترتیب که در شکل‌های (۲ الف) و (۲ ب) نمودارهای شبکه اعتماد در دو مرحله قبل و بعد از اجرای طرح و همچنین در شکل‌های (۲ ج) و (۲ د) نمودارهای مربوط به شبکه مشارکت در دو مرحله قبل و بعد از اجرای طرح در روستای ارزنه آورده شده است. اندازه گره‌ها در این گراف‌ها بر اساس شاخص سطح خرد



(الف)



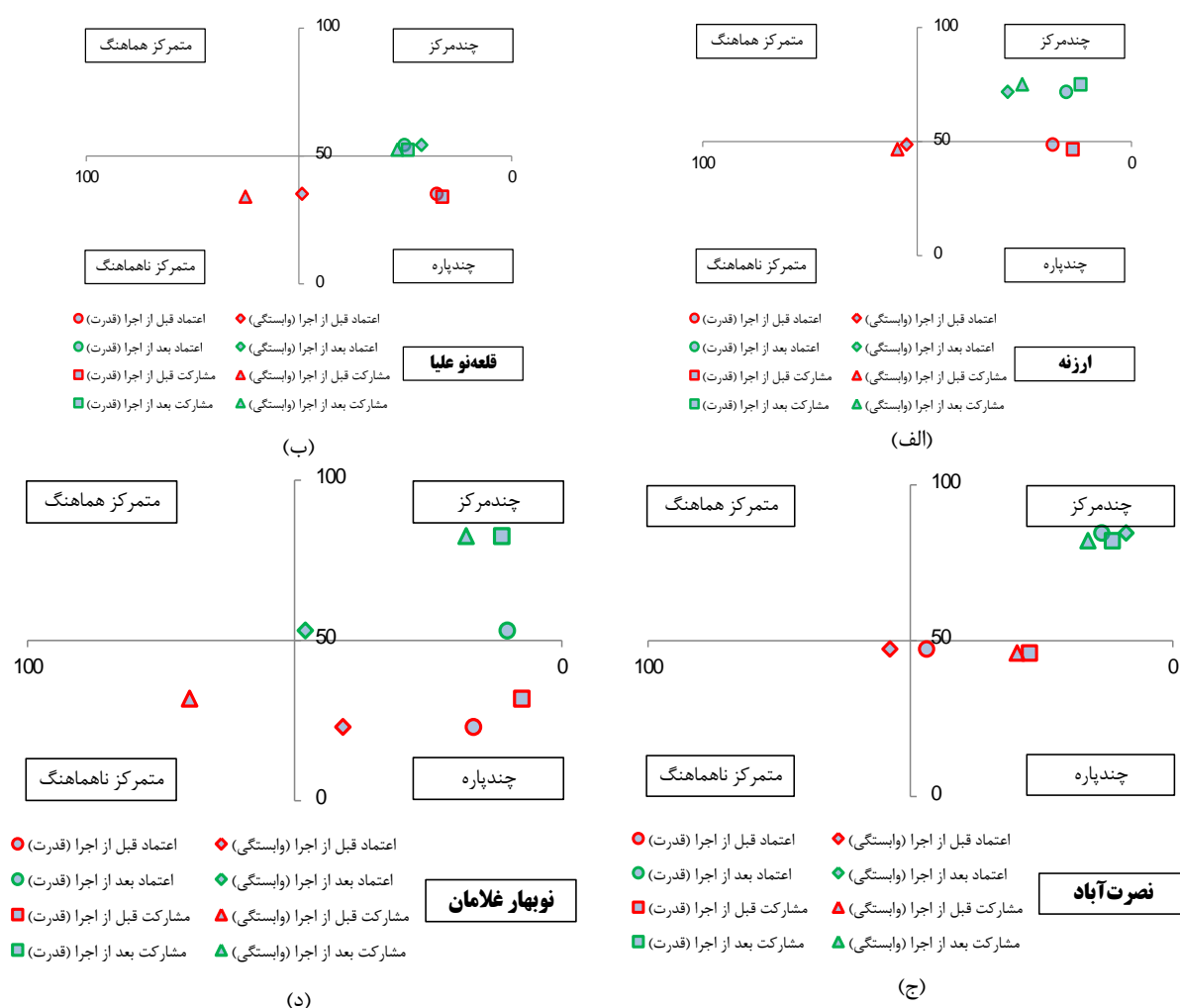
(ب)



منظومه‌های روستایی، با افزایش سرمایه اجتماعی جامعه محلی روستای ارزنه، نوع رژیم حکمرانی در هر دو شبکه اعتماد و مشارکت و در هر دو حالت تمرکز قدرت و تمرکز وابستگی، رژیم حکمرانی چندمرکزی که به عنوان بهترین نوع رژیم حکمرانی شناخته می‌شود غالبیت یافته است. این نتایج در روستای قلعه‌نو علیا (شکل ۳ ب) نیز به همین شکل صدق نموده و نشان‌دهنده تأثیر افزایش سرمایه اجتماعی بر انتقال نوع رژیم حکمرانی به رژیم چندمرکزی و در نتیجه حرکت به سمت حکمرانی خوب سرزمین در این روستا نیز بوده است.

حکمرانی سرزمین در دو حالت قبل و بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی و همچنین در دو شبکه مورد بررسی اعتماد و مشارکت ترسیم گردیده است.

نتایج نشان داد در روستای ارزنه (شکل ۳ الف)، نوع رژیم حکمرانی سرزمین در دو شبکه اعتماد و مشارکت و در دو حالت تمرکز قدرت (شاخص تمرکز ورودی) و تمرکز وابستگی (شاخص تمرکز خروجی) در شبکه قبل از اجرای طرح دو رژیم متمرکز ناهماهنگ و چندپاره غالبیت داشته‌اند. این در حالی است که در بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت



شکل ۳- شناسایی نوع رژیم حکمرانی سرزمین در روستاهای مورد مطالعه بر اساس میزان توزیع قدرت و همکاری بین ذی‌نفعان محلی

Figure 3- Identifying the type of land governance regime in the studied villages based on the level of power distribution and cooperation between local stakeholders

این نتایج در دو روستای نصرت‌آباد (شکل ۳ ج) و روستای نوبهار غلامان (شکل ۳ د) نیز صدق نموده، اما میزان و شدت انتقال نوع رژیم حکمرانی در هر چهار روستا بر اساس شکل‌های مذکور به میزان متفاوتی بوده است. به طور کلی تغییر نوع رژیم حکمرانی بر اساس سرمایه اجتماعی جامعه محلی در چهار روستای مورد مطالعه به تنهایی نمی‌تواند به عنوان تغییر نوع رژیم حکمرانی سرزمین در منطقه مورد مطالعه به رژیم حکمرانی چندمرکزی و در نتیجه حکمرانی خوب سرزمین تلقی گردد، زیرا ذی‌نفعان محلی تنها به‌عنوان بخشی از شبکه نظام حکمرانی سرزمین در هر منطقه بوده و برای حرکت بزرگتر به سمت حکمرانی خوب سرزمین، توجه به شبکه روابط سازمانی و همچنین شبکه روابط سازمانی-جامعه محلی نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اما نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سرمایه اجتماعی جامعه محلی به خوبی توانسته در یک چارک شبکه نظام حکمرانی سرزمین عمل نموده و نظام حکمرانی سرزمین را به سمت حکمرانی خوب سرزمین حرکت بدهد.

### بحث

سرمایه اجتماعی به عنوان یکی از مفاهیم کلیدی در توسعه پایدار و حکمرانی خوب در جوامع روستایی شناخته می‌شود. این مفهوم به روابط، شبکه‌ها و اعتماد متقابل بین افراد و گروه‌ها اشاره دارد که می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و تاب‌آوری جوامع محلی کمک کند. در این پژوهش، به بررسی نقش سرمایه اجتماعی در حکمرانی خوب سرزمین مناطق روستایی با کاربرد روش تحلیل شبکه اجتماعی پرداخته و به تحلیل عمیق‌تری از یافته‌ها پرداخته شده است.

محاسبه سنجه‌های سطح کلان شبکه در روستاها نشان‌دهنده افزایش قابل توجه سرمایه اجتماعی پس از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی است. به طور ویژه، افزایش شاخص تراکم

شبکه در هر چهار روستا به وضوح نشان‌دهنده بهبود روابط اجتماعی و افزایش تاب‌آوری جامعه در مواجهه با تغییرات محیطی است. این یافته با نتایج پژوهش‌های قبلی که به نقش مثبت سرمایه اجتماعی در تقویت همکاری‌های محلی و افزایش اعتماد اجتماعی اشاره دارند (Kietäväinen & Tuulentie, 2018; Baharuddin *et al.*, 2021)، همخوانی دارد. به عنوان مثال، در پژوهشی که بر روی جوامع روستایی در کشورهای مختلف انجام شده، تأثیر مثبت سرمایه اجتماعی بر افزایش مشارکت اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی مورد تأکید قرار گرفته است (Sabet & Khaksar, 2024). همچنین، نتایج نشان داد که کاهش میزان شاخص میانگین فاصله ژئودزیک در شبکه‌های مورد بررسی، به معنای کاهش فاصله بین افراد و افزایش سرعت گردش اطلاعات و دانش اکوسیستمی در شبکه‌های روستایی است. این موضوع می‌تواند به بهبود شرایط جهت ورود دانش جدید و نوآوری به روستاها کمک کند.

نتایج نشان داد که تغییر رژیم حکمرانی در روستاها از حالت متمرکز ناهماهنگ به رژیم چندمرکزی پس از اجرای طرح، تأثیر سرمایه اجتماعی را در حکمرانی خوب سرزمین نمایان می‌سازد. این مهم بر اساس تغییر رژیم حکمرانی شناسایی شده در چهار روستای مورد مطالعه از رژیم متمرکز ناهماهنگ و چندپاره به رژیم حکمرانی چندمرکز شناسایی شده است. این تغییر به معنای توزیع بهتر قدرت و افزایش همبستگی بین اعضای جامعه است. پژوهش‌های مشابه نیز نشان داده‌اند که سرمایه اجتماعی می‌تواند به عنوان یک عامل کلیدی در بهبود حکمرانی و کاهش نابرابری‌های اجتماعی عمل کند (Muntaner *et al.*, 2020; Pylypenko *et al.*, 2023). در روستای ارزنه، نوع رژیم حکمرانی در دو شبکه اعتماد و مشارکت و در دو حالت تمرکز قدرت و تمرکز وابستگی، در شبکه قبل از اجرای طرح به صورت متمرکز ناهماهنگ و چندپاره بوده است. اما پس از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی، با افزایش سرمایه

مناطق کمک کند، زیرا افراد براساس روابط اعتماد و همکاری، ایده‌ها و منابع خود را به اشتراک می‌گذارند. به‌ویژه در شرایط بحران یا تغییرات محیطی، جوامعی که دارای سطح بالاتری از سرمایه اجتماعی هستند، قابلیت بیشتری برای سازگاری و غلبه بر چالش‌ها دارند.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده این است که افزایش سرمایه اجتماعی در روستاهای مورد مطالعه، به ویژه در صندوق‌های اعتباری خرد، هم به بهبود حکمرانی کمک کرده، و هم می‌تواند به عنوان یک الگو برای سایر مناطق روستایی نیز مورد استفاده قرار گیرد. به طور خاص، صندوق‌های اعتباری خرد با ایجاد فرصت‌های مالی و تسهیل دسترسی به منابع مالی، به تقویت روابط اجتماعی و افزایش مشارکت محلی کمک کرده‌اند. نتایج این پژوهش تاکید دارد که سرمایه اجتماعی به عنوان یک عامل تسهیل‌کننده در فرآیندهای توسعه و حکمرانی خوب عمل می‌کند. افزایش سرمایه اجتماعی با بهبود تعاملات میان فردی و تقویت همبستگی اجتماعی، به تغییر رژیم حکمرانی از حالت متمرکز به چندمرکزی کمک کرده است. این تغییر به نوبه خود می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و تاب‌آوری جوامع روستایی، به ویژه در شهرستان باخرز، منجر شود. بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های توسعه‌ای در مناطق روستایی بیشتر بر تقویت سرمایه اجتماعی و استفاده از ظرفیت‌های صندوق‌های اعتباری خرد تمرکز کنند. این امر می‌تواند شامل ایجاد فرصت‌های مشارکت اجتماعی، تقویت روابط بین افراد و نهادها و افزایش اعتماد اجتماعی باشد. به ویژه، برنامه‌هایی که به توانمندسازی زنان و جوانان از طریق صندوق‌های اعتباری خرد توجه دارند، می‌توانند به بهبود وضعیت اجتماعی و اقتصادی جوامع کمک کنند. به طور کلی، این پژوهش نشان داد که سرمایه اجتماعی می‌تواند به عنوان یک ابزار کلیدی در بهبود حکمرانی و مدیریت

اجتماعی، نوع رژیم حکمرانی به رژیم چندمرکزی تغییر یافته است. این تغییر در روستای قلعه‌نو علیا نیز مشهود است و نشان‌دهنده تأثیر مثبت سرمایه اجتماعی بر انتقال نوع رژیم حکمرانی به رژیم چندمرکزی و در نتیجه حرکت به سمت حکمرانی خوب سرزمین است.

نمودارهای شبکه اعتماد و مشارکت در روستاهای مورد مطالعه، ابزاری مؤثر برای نمایش موقعیت کنشگران در این شبکه‌ها هستند. اندازه گره‌ها در این نمودارها بر اساس شاخص سطح خرد مرکزیت درجه تنظیم شده است. کنشگران با اندازه بزرگتر در نمودار، دارای مرکزیت درجه بیشتر و در نتیجه قدرت و نفوذ بیشتری در شبکه‌های مورد مطالعه هستند. شناسایی این کنشگران کلیدی در جوامع محلی به منظور پیشبرد اهداف طرح و اجرای گام‌های بعدی بسیار ضروری است. این یافته‌ها نشان داد که کنشگران کلیدی می‌توانند به عنوان تسهیل‌کنندگان فرآیندهای توسعه و حکمرانی خوب عمل کنند (Westin et al., 2024). آن‌ها می‌توانند با ایجاد ارتباطات بیشتر و تقویت همکاری‌ها، به بهبود وضعیت اجتماعی و اقتصادی جوامع کمک کنند (Kustepeli et al., 2023).

به طور کلی سرمایه اجتماعی به عنوان یکی از مفاهیم کلیدی در توسعه پایدار و حکمرانی خوب در جوامع روستایی شناخته می‌شود. این مفهوم به روابط، شبکه‌ها و اعتماد متقابل بین افراد و گروه‌ها اشاره دارد که می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و تاب‌آوری جوامع محلی کمک کند. در این پژوهش، به بررسی نقش سرمایه اجتماعی در حکمرانی خوب سرزمین مناطق روستایی با کاربرد روش تحلیل شبکه اجتماعی پرداخته و به تحلیل عمیق‌تری از یافته‌ها پرداخته شده است. افزایش سرمایه اجتماعی در جوامع روستایی موجب تقویت همکاری‌های محلی می‌شود و به شکل‌گیری فضایی مستحکم برای تبادل اطلاعات و دانش منجر می‌گردد. این فرایند قادر است به توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی ساکنان این

زمینه مهارت‌های اجتماعی و کارآفرینی به منظور توانمندسازی و افزایش مشارکت آنان در فرآیندهای توسعه‌ای، تشویق مشارکت‌های محلی از طریق مشاوره به ساکنان در تصمیم‌گیری‌های اجتماعی و اقتصادی، بررسی نظرات و نیازهای جامعه در روند برنامه‌ریزی توسعه برای ایجاد حس مالکیت و مسئولیت، برگزاری جشنواره‌ها و رویدادهای فرهنگی برای تبادل ایده‌ها و تجربیات بین روستاها و مناطق مختلف، و همچنین ایجاد سیستم‌های نظارت و ارزیابی برای اندازه‌گیری تأثیرات سرمایه اجتماعی بر توسعه و حکمرانی به منظور تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر و بهبود برنامه‌های توسعه‌ای.

### سپاسگزاری

این مقاله بخشی از طرح آبدانی و پیشرفت منظومه روستایی شهرستان باخرز است؛ که اعتبار لازم آن را بنیاد مسکن انقلاب اسلامی تأمین و با همکاری پژوهشکده سوانح طبیعی انجام شده است.

### References

- Adamowicz, M., & Zwolińska-Ligaj, M. (2020). The "Smart Village" as a way to achieve sustainable development in rural areas of Poland. *Sustainability*, 12(16), 6503. <https://doi.org/10.3390/su12166503>
- Akbari, E., & Avazpour, L. (2022). Analyzing the Dynamics of Social Capital in Development and Empowerment of Local Communities in Arid Areas; Application of Social Network Analysis. *Journal of Range and Watershed Management*, 75(3), 333-345. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2022.351397.1685> (In Persian)
- Anthony Jr, B. (2024). The role of community engagement in urban innovation towards the co-creation of smart sustainable cities. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(1), 1592-1624. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01176-1>
- Avazpour, L., Ghorbani, M., Naderi, A., Fakhari Izadi, N., Azadi, H., &

منابع در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل، توجه به تقویت سرمایه اجتماعی باید در اولویت برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای قرار گیرد تا بتوان به حکمرانی خوب و پایدار در سرزمین‌های روستایی دست یافت.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آینده به بررسی عمیق‌تری از نقش سرمایه اجتماعی و صندوق‌های اعتباری خرد در حکمرانی خوب در سایر مناطق روستایی پرداخته و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین جوامع با سطوح مختلف سرمایه اجتماعی و دسترسی به منابع مالی را انجام دهند. این تحقیقات می‌توانند به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کمک کنند تا راهکارهای مؤثرتری برای تقویت سرمایه اجتماعی و بهبود حکمرانی در جوامع روستایی به ویژه با تمرکز بر طرح آبدانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی ارائه دهند. همچنین به منظور تقویت سرمایه اجتماعی و بهبود حکمرانی در مناطق روستایی، پیشنهادات زیر را می‌توان در نظر گرفت: ایجاد شبکه‌های محلی به منظور تقویت روابط اجتماعی و تبادل اطلاعات، برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای زنان و جوانان در

- Yazdanparast, M. (2024). Dryland co-management in Kerman province, Iran: a dynamic analysis of social networks. *Environment, Development and Sustainability*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04346-y>
- Abbaszadeh, M., Banifateme, H., & Nikdel, N. (2020). A Study of Farmers' Perception of Urmia Lake (UL) Crisis with Grounded Theory Approach. *Journal of Applied Sociology*, 31(2), 1-22. <https://doi.org/10.22108/jas.2019.117790.1728> (In Persian)
- Baharuddin, T., Sairin, S., Jubba, H., Qodir, Z., Nurmandi, A., & Hidayati, M. (2021). Social capital and social trust: the state's response in facing the spread of COVID-19 in Indonesia. *Sociología y tecnología*, 11(2), 23-47. <https://doi.org/10.24197/st.2021.23-47>
- Barletti, J. P. S., Larson, A. M., Hewlett, C., & Delgado, D. (2020). Designing for

- engagement: A Realist Synthesis Review of how context affects the outcomes of multi-stakeholder forums on land use and/or land-use change. *World Development*, 127, 104753. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104753>
- Bodin, Ö., Mancilla García, M., & Robins, G. (2020). Reconciling conflict and cooperation in environmental governance: a social network perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 471-495. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-011020-064352>
- Dar, S. A., & Shairgojri, A. A. (2022). Role of women in good governance. *Journal of social science*, 3(4), 648-655. <https://doi.org/10.46799/jss.v3i4.360>
- Debonne, N., van Vliet, J., Metternicht, G., & Verburg, P. (2021). Agency shifts in agricultural land governance and their implications for land degradation neutrality. *Global Environmental Change*, 66, 102221. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102221>
- Ghorbani, M., Avazpour, L., Rahimi, M., Mousavi, H., & Esmaeli, B. (2018). Analysis of bonding social capital towards co-management of dry lands. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(2), 378-387. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2018.116849> (In Persian)
- Ghorbani, M., Esmaeili, B., Akbari, E., Yazdanparast, M., & Avazpour, L. (2024). Measuring the adaptive capacity of rangeland users under drought stress in North-eastern Iran: application of social network analysis. *Journal of Arid Environments*, 225, 105254. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105254>
- Jakubeit, N., Haanstra, W., Braaksma, J., Rajabalinejad, M., & van Dongen, L. (2022). Co-designing sustainable coordination to support inter-organizational decision making. *Sustainability*, 14(11), 6467. <https://doi.org/10.3390/su14116467>
- Jamini, D., & Jamshidi, A. (2021). Modeling the Factors Affecting the Development of Entrepreneurship Indicators in Rural Areas of Iran (Case study: Owramanat Region, Kermanshah Province). *Spatial Planning*, 11(3), 73-94. <https://doi.org/10.22108/sppl.2021.128388.1576> (In Persian)
- Kietäväinen, A., & Tuulentie, S. (2018). Trust matters—social capital in herding cooperation in Finland. *Society & Natural Resources*, 31(9), 1064-1079. <https://doi.org/10.1080/08941920.2018.1463421>
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30, 607-610. <https://doi.org/10.1177/001316447003000308>
- Kustepeli, Y., Gulcan, Y., Yercan, M., & Yildirim, B. (2023). The role of agricultural development cooperatives in establishing social capital. *The Annals of Regional Science*, 70(3), 681-704. <https://doi.org/10.1007/s00168-019-00965-4>
- Lambin, E. F., Meyfroidt, P., Rueda, X., Blackman, A., Börner, J., Cerutti, P. O., & Wunder, S. (2014). Effectiveness and synergies of policy instruments for land use governance in tropical regions. *Global environmental change*, 28, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.007>
- Mohammadi, A., & Khorasani, M. (2015). Study of relation between resettlement and Social capital in rural area (Case study resettlement in flooded villages in Golestan province). *Spatial Planning*, 5(3), 85-104. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22287485.1394.5.3.5.0> (In Persian)
- Muntaner, C., Lynch, J., & Smith, G. D. (2020). Social capital, disorganized communities, and the third way: understanding the retreat from structural inequalities in epidemiology and public health. *Political And Economic Determinants of Population Health and Well-Being*, 427-450. <https://doi.org/10.4324/9781315231068>
- Natural Disasters Research Institute. (2023). Evaluation report of social and political networks in development plan and development of rural systems, 345 pages.
- Nunes, M., & Abreu, A. (2020). Applying social network analysis to identify project critical success factors. *Sustainability*, 12(4), 1503. <https://doi.org/10.3390/su12041503>

- Peng, L., Tan, J., Deng, W., & Liu, Y. (2020). Farmers' participation in community-based disaster management: The role of trust, place attachment and self-efficacy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101895. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101895>
- Pylypenko, H. M., Pylypenko, Y. I., Dubiei, Y. V., Solianyuk, L. G., Pazynich, Y. M., Buketov, V., & Magdziarczyk, M. (2023). Social capital as a factor of innovative development. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(3), 100118. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100118>
- Rahimi, M., Ghorbani, M., Malekian, A., & Alambaigi, A. (2022). Analysis of institution-stakeholder relations for the nested water governance in downstream of the Kor river basin. *Watershed Management Research*, 35(1), 61-72. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2021.353840.1394> (In Persian)
- Ricciardelli, A. (2023). Governance, local communities, and citizens participation. In *Global Encyclopedia of Public Administration, Public Policy, and Governance* (pp. 5977-5990). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66252-3\\_3221](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66252-3_3221)
- Rodorff, V., Siegmund-Schultze, M., Guschal, M., Hölzl, S., & Köppel, J. (2019). Good governance: A framework for implementing sustainable land management, applied to an agricultural case in Northeast-Brazil. *Sustainability*, 11(16), 4303. <https://doi.org/10.3390/su11164303>
- Sabet, N. S., & Khaksar, S. (2024). The performance of local government, social capital and participation of villagers in sustainable rural development. *The Social Science Journal*, 61(1), 1-29. <https://doi.org/10.1080/03623319.2020.1782649>
- Serrano, J. J., & Esparcia, J. (2023). Diagnosis of rural development processes based on the stock of social capital and social networks: approach from EI index. *Land*, 12(4), 850. <https://doi.org/10.3390/land12040850>
- Soltani, N., Garakani, S. A. H. Amiri, S., & Rowshan, B. (2024). Participatory Needs Assessment Analysis Based on the Governance Approach Based on Rural Community-Oriented Management (Case Study: Chahartaq Village of Bakherz City). *Journal of Natural Resources Governance*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.22059/jnrg.2024.362440.1001> (In Persian)
- Sun, P., Zhou, L., Ge, D., Lu, X., Sun, D., Lu, M., & Qiao, W. (2021). How does spatial governance drive rural development in China's farming areas? *Habitat International*, 109, 102320. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102320>
- Valeri, M., & Baggio, R. (2021). Italian tourism intermediaries: A social network analysis exploration. *Current Issues in Tourism*, 24(9), 1270-1283. <https://doi.org/10.1080/13683500.2020.1777950>
- Westin, M., Hallgren, L., & Montgomerie, E. (2024). Between authority and argumentation: facilitators' use of power in collaborative governance. *Journal of Environmental Planning and Management*, 67(9), 2055-2074. <https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2174835>
- Zhou, L. (2024). Beyond the Traditional: Voluntary Collective Action Initiatives in China's Rural Land Development (Doctoral dissertation). *Technische Universität München*

## Application of digital filtering methods for assessing base flow and groundwater recharge in the Kashkan Watershed

Ali Haghizadeh\*, Leila Ghasemi, Hafez Mirzapour

Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

\*Corresponding author: [Haghizadeh.a@lu.ac.ir](mailto:Haghizadeh.a@lu.ac.ir)

(Received: 06 October 2024

Revised: 27 December 2024

Accepted: 17 January 2025)

### Extended Abstract

**Introduction:** Natural resource management is considered the foundation of sustainable development. Therefore, in a country like Iran, located in the water-stressed and tense region of the Middle East, water resource management is of paramount importance. Knowledge of temporal changes in baseflow is crucial for effective water resources management. Identifying the most suitable and optimal method for hydrograph separation and baseflow estimation enables the accurate calculation of the baseflow index.

**Materials and methods:** In this study, nine recession filter algorithms were used to estimate baseflow. These algorithms include Local Minimum, Sliding Interval, Fixed Interval, Eckhardt, Chapman, Chapman & Maxwell, Lyne & Hollick, Furey & Gupta, and Boughton. Using these algorithms, daily baseflow was calculated for the Kashkan watershed using daily discharge and rainfall data from 1999 to 2020. The Kakareza, Sarab Seid Ali, Cham Anjir, Afrineh, and Pol-e-Dokhtar stations were investigated to separate baseflow in the Kashkan watershed. The performance of the methods for separating baseflow in the hydrograph of the Kashkan watershed was assessed using the Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) coefficient and the  $R^2$  coefficient to select the most suitable filtering method.

**Results:** Among the recession algorithms examined, the Furey & Gupta method estimated the lowest baseflow for all five sub-watersheds. In the Afrineh sub-watershed, the Lyne and Hollick, Fixed Interval, and Sliding Interval methods estimated baseflow as 36.41, 30.11, and 29.7  $m^3/s$ , respectively. These methods attributed 85%, 82%, and 81% of the total flow to groundwater contributions. In the Cham Anjir sub-watershed, the highest annual average baseflow values were obtained using the Lyne & Hollick, and Local Minimum methods, with values of 7.22, and 6.24  $m^3/s$ , respectively. The variation in mean baseflow among different methods in the Cham Anjir sub-watershed ranged from 17% to 94%. For the Kakareza sub-watershed, the highest annual average baseflow values were observed using the Lyne & Hollick, and Sliding Interval methods, with values of 9.70, and 9.72  $m^3/s$ , respectively. The variation in mean baseflow among different methods in the Kakareza sub-watershed ranged from 17% to 95%. Similarly, in the Pol-e-Dokhtar sub-watershed, the highest values were obtained using the Lyne & Hollick, Fixed Interval, and Sliding Interval methods, with values of 36.10, 34.40, and 34.40  $m^3/s$ , respectively, and variations ranging from 17% to 99%. In the Sarab Seid Ali sub-watershed, the Lyne & Hollick, Fixed Interval, and Sliding Interval methods yielded the highest annual average baseflow values of 5.97, 5.95, and 5.94  $m^3/s$ , respectively, with variations ranging from 17% to 92%. Based on the findings and evaluation criteria, the Local Minimum, Lyne & Hollick, Sliding Interval, and Fixed Interval methods were identified as suitable for baseflow separation in the studied sub-watersheds.

**Discussion:** Baseflow in the Kashkan watershed of Lorestan constitutes a significant portion of the flow. In the majority of the methods examined in this study, it was also shown that baseflow accounts for more than 50% of the streamflow throughout the year. In all studied sub-watersheds, the Lyne and Hollick algorithm showed suitable values for the NSE coefficient and  $R^2$ . Therefore, this algorithm can be considered an appropriate method for estimating baseflow in the Kashkan watershed. Considering the hydrological characteristics of the watershed, this method can better simulate the natural fluctuations of baseflow.

**Conclusion:** The results of this study can inform baseflow contribution estimates and help in selecting appropriate methods for flow separation in the hydrological modeling of rivers with varying discharge ranges in the Kashkan watershed. The present research focused on differentiating water sources in the Kashkan watershed using digital filtering methods. Future studies are recommended to explore other approaches, such as chemical methods and tracers, for water source differentiation in the Kashkan watershed, and to compare the accuracy of these methods with digital filtering techniques.

**Keywords:** Baseflow separation, Hydrograph, Kashkan, Recursive Digital Filters, Groundwater Recharge.

Citation: Haghizadeh, A., Ghasemi, L., & Mirzapour, H. (2025). Application of digital filtering methods for assessing base flow and groundwater recharge in the Kashkan Watershed. *Integrated Watershed Management*, 5(2), 69-86. doi= 10.22034/iwm.2025.2042760.1178

### 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>).



# کاربرد روش‌های فیلتر دیجیتال در ارزیابی آبپایه و تغذیه آب زیرزمینی در حوضه کشکان

علی حقی زاده\*، لیلا قاسمی، حافظ میرزاپور

گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

\*نویسنده مسئول: [Haghizadeh.a@lu.ac.ir](mailto:Haghizadeh.a@lu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

## چکیده مبسوط

**مقدمه:** مدیریت منابع طبیعی به‌عنوان پایه و اساس توسعه پایدار در نظر گرفته می‌شود. لذا در کشوری همچون ایران که در منطقه پرتنش و کم آب خاورمیانه قرار دارد، مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است. به‌منظور مدیریت موثر منابع آب، درک تغییرات زمانی در آبپایه بسیار مهم است. شناخت مناسب‌ترین و بهینه‌ترین روش جداسازی جریان هیدروگراف و برآورد دبی پایه امکان محاسبه دقیق شاخص دبی پایه را فراهم می‌کند.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش به‌منظور برآورد آبپایه از ۹ الگوریتم فیلتر برگشتی استفاده شد. این الگوریتم‌ها شامل Sliding Interval, Local Minimum, Fixed Interval, Eckhardt, Chapman, Chapman & Maxwell, Lyne & Hollick, Furey & Gupta, Boughton می‌باشند. با استفاده از این الگوریتم‌ها مقدار آبپایه به‌صورت روزانه، با استفاده از داده‌های دبی جریان و بارش روزانه و برای دوره آماری ۱۴۰۰-۱۳۸۹، برای حوزه آبخیز کشکان محاسبه گردید. در مطالعه حاضر به‌منظور تفکیک آبپایه در حوزه آبخیز کشکان، ایستگاه‌های کاکارضا، سراب صیدعلی، چم انجیر، افرینه و پلدختر مورد بررسی قرار گرفتند. ارزیابی عملکرد روش‌های تفکیک آبپایه هیدروگراف حوزه آبخیز کشکان توسط ضریب کارایی NSE و ضریب  $R^2$  انجام شد و مناسب‌ترین روش فیلتری انتخاب گردید.

**نتایج:** از میان الگوریتم‌های برگشتی مورد بررسی، برای هر ۵ زیرحوضه مورد بررسی، کمترین میزان برآورد آبپایه مربوط به روش Furey & Gupta آبپایه بود. در زیرحوضه افرینه، روش‌های Lyne و Holic و Fixed Interval, Sliding Interval به‌ترتیب آبپایه را ۳۶/۴۱، ۳۰/۱۱ و ۲۹/۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد کردند. این روش‌ها ۸۵٪، ۸۲٪ و ۸۱٪ از کل جریان را به مشارکت‌های آب‌های زیرزمینی اختصاص دادند. در زیرحوضه چم انجیر بیشترین مقادیر میانگین سالانه آبپایه به روش‌های Lyne و Holic و Local Minimum است و مقادیر آن‌ها به‌ترتیب برابر با ۷/۲۲ و ۶/۲۴ مترمکعب بر ثانیه بود. تغییرات در میانگین آبپایه بین روش‌های مختلف در زیرحوضه چم انجیر از ۱۷٪ تا ۹۴٪ متغیر بود. برای زیرحوضه کاکارضا بیشترین مقادیر متوسط سالانه آبپایه با استفاده از روش‌های Lyne و Holic و Sliding Interval مشاهده شد که مقادیر آن‌ها به‌ترتیب برابر با ۹/۷۰ و ۹/۷۲ مترمکعب بر ثانیه بودند. تغییرات در میانگین آبپایه بین روش‌های مختلف در زیرحوضه کاکارضا از ۱۷ تا ۹۵ درصد متغیر بود. به‌طور مشابه، در زیرحوضه پلدختر بیشترین مقادیر با استفاده از روش‌های Lyne و Holic, Fixed Interval, Sliding Interval به دست آمد که به‌ترتیب برابر با ۳۶/۱۰، ۳۴/۴۰ و ۳۴/۴۰ مترمکعب بر ثانیه بودند و دامنه تغییرات از ۱۷٪ تا ۹۹٪ متغیر بود. در زیرحوضه سراب صیدعلی روش‌های Lyne و Holic, Fixed Interval و Sliding Interval به ترتیب بیشترین مقادیر میانگین سالانه آبپایه را به میزان ۵/۹۷، ۵/۹۵ و ۵/۹۴ مترمکعب بر ثانیه به دست آوردند، و تغییرات آن‌ها از ۱۷٪ تا ۹۲٪ متغیر بود. بر اساس یافته‌ها و معیارهای ارزیابی، روش‌های Local Minimum, Lyne, Holic, Sliding Interval و Fixed Interval به‌عنوان روش‌های مناسب برای جداسازی آبپایه تعیین شدند.

**بحث:** آبپایه در حوزه آبخیز کشکان لرستان بخش زیادی از جریان را تشکیل می‌دهد. در اکثریت روش‌های مورد بررسی در این پژوهش نیز نشان داده شد که شاخص آبپایه بیش از ۵۰ درصد از جریان رود را در طول سال تشکیل می‌دهد. در تمامی زیرحوضه‌های مورد مطالعه، الگوریتم Lyne و Holic دارای مقدار ضریب NSE و مقدار  $R^2$  مناسبی بود؛ بنابراین می‌توان این الگوریتم را به‌عنوان یک روش مناسب برای برآورد مقدار آبپایه در حوضه کشکان دانست. باتوجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه، این روش می‌تواند نوسانات طبیعی آبپایه را بهتر شبیه‌سازی کند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش می‌تواند به برآوردهای مربوط به سهم جریان پایه کمک کند و در انتخاب روش‌های مناسب برای تفکیک جریان در مدل‌سازی هیدرولوژیکی رودخانه‌ها با دامنه‌های مختلف جریان در حوضه کشکان مؤثر باشد. پژوهش حاضر بر تفکیک منابع آبی در حوضه کشکان با استفاده از روش‌های فیلترینگ دیجیتال متمرکز شده است. توصیه می‌شود در مطالعات آتی، سایر رویکردها مانند روش‌های شیمیایی و ردیاب‌ها برای تمایز منابع آبی در حوضه کشکان بررسی شود و دقت این روش‌ها با تکنیک‌های فیلترینگ دیجیتال مقایسه گردد.

**واژه‌های کلیدی:** جداسازی آبپایه، هیدروگراف، کشکان، فیلترهای دیجیتال برگشتی، تغذیه آب زیرزمینی

**استناد:** حقی‌زاده، ع.، قاسمی، ل. و میرزاپور، ح. (۱۴۰۴). کاربرد روش‌های فیلتر دیجیتال در ارزیابی آبپایه و تغذیه آب زیرزمینی در حوضه کشکان. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۳)، ۸۶-۶۹.

## 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 دسترس است.

## مقدمه

با وجود داشتن پایه فیزیکی اغلب پیچیده هستند و تنها در صورتی دقیق خواهند بود که مقادیر مناسب برای پارامترهای ورودی ارائه شوند (Nejadhashemi *et al.*, 2009). فیلترهای دیجیتالی را می‌توان بر اساس تعداد پارامترهای درگیر (یک، دو یا چندگانه) مرتب کرد (Nathan & McMahon, 1990). سهم آب‌پایه به جریان می‌تواند بر شیوه‌های مدیریت آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیر بگذارد (Shao *et al.*, 2021). با توجه به اهمیت جداسازی آب‌پایه هیدروگراف، مطالعات زیادی در رابطه با آن صورت گرفته است. برای مثال Mehri و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلترهای عددی برگشتی در تفکیک آب‌پایه در تعدادی از رودخانه‌های استان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که روش‌های ترسیمی دارای نتایج قابل قبولی نبودند و روش‌های فیلتری با برطرف کردن محدودیت‌هایی که روش‌های گرافیکی و مبتنی بر تئوری پردازش سیگنال، برای تفکیک کردن جریان به دو مؤلفه جریان سریع و آب‌پایه دارند، صحت و دقت بیشتری دارند. Zare Bidaki و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به مقایسه روش‌های جداسازی آب‌پایه از رواناب مستقیم در حوزه‌ی آبخیز دورود در استان لرستان پرداختند. این پژوهش با استفاده از روش‌های PART، فیلتر عددی برگشتی یک پارامتره (Lyne-Hollick) و دو پارامتره (Eckhardt) انجام شد. نتایج نشان داد که روش Lyne-Hollick با فیلتر ۰/۹۷۵ به‌عنوان بهترین روش برای جداسازی آب‌پایه می‌باشد. Porhemat و Kazemi (۲۰۲۰) در پژوهشی به واسنجه فیلترهای رقومی برگشتی با هدف جداسازی آب‌پایه در حوضه کرخه پرداختند. نتایج نشان داد که قسمت اعظم جریان رودخانه در منطقه مورد مطالعه، به آب‌پایه مربوط می‌شود و بیانگر مشارکت بیش از ۵۰ درصدی منابع آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی حوضه‌های مورد مطالعه می‌باشد. Aboelnour و همکاران (۲۰۲۱) مدلی را توسعه دادند که روش حداقل محلی و دو روش فیلتر دیجیتالی را ترکیب کرده و برای تخمین آب‌پایه در حوضه‌های

جداسازی آب‌پایه، به‌عنوان سهم آب زیرزمینی در مقدار کل جریان، یک عمل رایج در هیدرولوژی است (Nathan & McMahon, 1990). کمی‌سازی آب‌پایه و رواناب مستقیم کاربردهای زیادی دارد. با دانستن سری زمانی رواناب سطحی خاص رویداد (واکنش سریع به بارش‌های ناگهانی)، می‌توان مواردی همچون تحلیل سیلاب، استخراج هیدروگراف واحد و واسنجه مدل‌های بارش-رواناب و همچنین مدل‌های هدایت رواناب را انجام داد (Nathan & McMahon, 1990). علاوه بر این، مطالعه دقیق آب‌پایه در جنبه‌های مختلف تحقیقات منابع آب ضروری است (Duan *et al.*, 2024). برای مثال می‌توان به اهمیت آن در تأمین آب صنعتی و کشاورزی، امنیت آب، ارزیابی آلودگی منبع غیرنقطه‌ای، ارزیابی و اکتشاف منابع آب و همچنین در مدل‌سازی و شبیه‌سازی دینامیک بارندگی-رواناب اشاره کرد (Duan *et al.*, 2024). در نتیجه، فرآیند جداسازی آب‌پایه به‌عنوان یک جنبه حیاتی و چالش‌برانگیز در زمینه هیدرولوژی است که تمرکز و تلاش‌های تحقیقاتی قابل‌توجهی را به خود جلب می‌کند (Duan *et al.*, 2024). بر اساس نظر Furey و Gupta (۲۰۰۱) روش‌های جداسازی آب‌پایه از جریان به چهار گروه شامل ژئوشیمیایی، گرافیکی، تحلیلی و فیلتر کردن تقسیم می‌شوند. بر اساس اندازه‌گیری‌های ژئوشیمیایی می‌توان جداسازی آب‌پایه را با استفاده از ایزوتوپ‌ها (Stadnyk *et al.*, 2015)، بار رسوبی (Zheng, 2015)، یا هدایت الکتریکی (Lott & Stewart, 2013) انجام داد. همچنین روش‌های گرافیکی بیشتر از سایر روش‌ها در معرض ذهنیت و سلیقه شخصی قرار دارند، زیرا به فرضیات ساخته‌شده توسط کاربر که غالباً دلخواه و بدون دلیل و قاعده مشخص هستند، وابسته‌اند (Nejadhashemi *et al.*, 2009). در مقابل، رویکردهای تحلیلی مبتنی بر نظریه‌های بنیادی آب‌های زیرزمینی و جریان سطحی است (Nejadhashemi *et al.*, 2009). روش‌های اخیر

و روش اکهاردت برای محاسبه آب‌پایه و شاخص آب‌پایه استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ABCD در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی کلی در جریان ماهانه در ایستگاه‌های BAZ و SD عملکرد خوبی دارد. Chen و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه به بررسی ویژگی‌های تکامل و حالت تأخیری آب‌پایه در حوضه‌های مرطوب جنوب شرقی چین پرداختند. در این تحقیق روشی برای تمایز بین فصل‌های مرطوب و خشک بر اساس میانگین چندساله BFI پیشنهاد شد. نتایج بیانگر این بود که روش BES در شبیه‌سازی آب‌پایه بهتر از سایر روش‌های جداسازی تک عمل می‌کند. Duan و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه

روش فیلتر دیجیتال را با مدل هیدرولوژیکی ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT<sup>2</sup>) ترکیب کرده تا الگوهای زمانی و مکانی آب‌پایه را در حوضه رودخانه گانجیانگ، در کشور چین، بررسی کنند و تأثیر تغییرات کاربری زمین بر آب‌پایه را به‌طور کمی ارزیابی نمایند. نتایج نشان داد که بین آب‌پایه سالانه و جریان رودخانه همبستگی مثبت وجود دارد، درحالی‌که بین شاخص آب‌پایه سالانه و بارش همبستگی منفی دیده شد. Riazi و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه از مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان آب در یک حوزه آبخیز در شرق افغانستان با استفاده از داده‌های مبتنی بر ماهواره و داده‌های تجزیه‌وتحلیل مجدد استفاده کرده است. در این مطالعه از هفت روش جداسازی آب‌پایه برای تخمین مقادیر تغذیه آب‌های زیرزمینی بر اساس سری‌های زمانی جریان آب از دوره پایه و سناریوهای اقلیمی مختلف بهره گرفتند. بر اساس نتایج حاصل، نشان داده شد که مدل SWAT در شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان خوب عمل می‌کند.

برآورد آب‌پایه باهدف برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و مقابله با مشکلات ناشی از کمبود آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مهم است. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی و تعیین میزان تغذیه آب

مختلف تگراس استفاده کرد، آن‌ها گزارش کردند که این مدل دارای عملکرد بالا، خطای سیستماتیک پایین و خطاهای نسبی کم برای پیش‌بینی<sup>۱</sup> BFI است. He و همکاران (۲۰۲۲) فیلتر دیجیتال برگشتی دوپارامتری را در حوضه رودخانه تیائو جنوبی در کشور چین اعمال کردند، آن‌ها دریافتند که پارامترها در مقیاس‌های زمانی مختلف بر نتیجه آب‌پایه تأثیر می‌گذارند. Biagi و همکاران (۲۰۲۲) آب‌پایه محاسبه‌شده با روش فیلتر دیجیتال برگشتی را برای پیش‌بینی بارهای مغذی در حوضه دریاچه‌های پایین انتاریو در کانادا انجام دادند. Waterman و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تغییرات اجزای جریان رودخانه‌های چندساله در سراسر کانزاس در ایالات متحده و روابط آن با ویژگی‌های حوزه آبخیز پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها، تفاوت‌ها برای همه روش‌های جداسازی ناچیز است. Cheng و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از ۴ روش گرافیکی و ۶ روش فیلتر دیجیتال در حوزه آبخیز آلدرا، کانادا، دریافتند که عملکرد روش‌ها در مقیاس‌های منطقه‌ای متفاوت است. Murray و همکاران (۲۰۲۳) یک تحلیل عمیق از روندهای ماهانه آب‌پایه در حوضه‌های آبریز کانادا با استفاده از روش تعادل آب انجام دادند. هدف این مطالعه بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر آب‌پایه بود و اطلاعات مهمی را در مورد تغییرات در چرخه‌های هیدرولوژیکی در کانادا ارائه کرد. Solgi و همکاران (۲۰۲۴) از الگوریتم‌های مختلف تک‌پارامتری، دوپارامتری، سه‌پارامتری، Lyne و Eckhardt, Gupta و Furey, Chapman, Hollick برای جداسازی آب‌پایه روزانه چشمه کارستی کهمان در شهرستان الشتر استفاده کردند. نتایج نشان داد که عملکرد الگوریتم اکهارت بهتر از دیگر الگوریتم‌ها بوده است. Xie و همکاران (۲۰۲۴) آب‌پایه و شاخص آب‌پایه را در حوضه‌های بایژیاو (BZA) و شادوان (SD) در حوضه رودخانه جیاوجیانگ (JRB) در استان ژجیانگ موردبررسی قرار دادند. مدل ABCD

<sup>2</sup> Soil & Water Assessment Tool

<sup>1</sup> Baseflow Index

گچساران و آبرفت‌های جوان و قدیمی است (Kazemi *et al.*, 2022). بر اساس روش آمبرژه، آبخیز کشکان در اقلیم نیمه‌مرطوب سرد قرار دارد. میانگین بلندمدت بارش برای زیرحوضه‌های افرینه، چم انجیر، کاکارضا، پلدختر و سراب صیدعلی به ترتیب برابر است با ۴۹۸، ۴۷۹/۵، ۵۳۵/۱، ۳۴۰ و ۵۰۸/۱ میلی‌متر می‌باشد (Khorshid Doust *et al.*, 2016). میانگین سالانه بارش در کل حوزه برابر با ۴۶۰ میلی‌متر است (Kaviani *et al.*, 2022). از لحاظ پراکنش کاربری اراضی، حوزه مورد بررسی دارای ۴۵/۷۶ درصد جنگل، ۱۳/۲۴ درصد مرتع، ۳۹/۹۶ درصد کشاورزی و ۱/۰۴ درصد اراضی انسان‌ساخت می‌باشد (Negaresh *et al.*, 2012). موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.

در این پژوهش تعداد ۵ ایستگاه باران‌سنجی و آب‌سنجی در سطح حوزه انتخاب گردید که شامل افرینه، کاکارضا، سراب صیدعلی، چم انجیر و پلدختر هستند. علاوه بر این در جدول (۱) مشخصات زیرحوضه‌های منتخب از منطقه مورد مطالعه ذکر شده است.

#### داده‌های موردنیاز

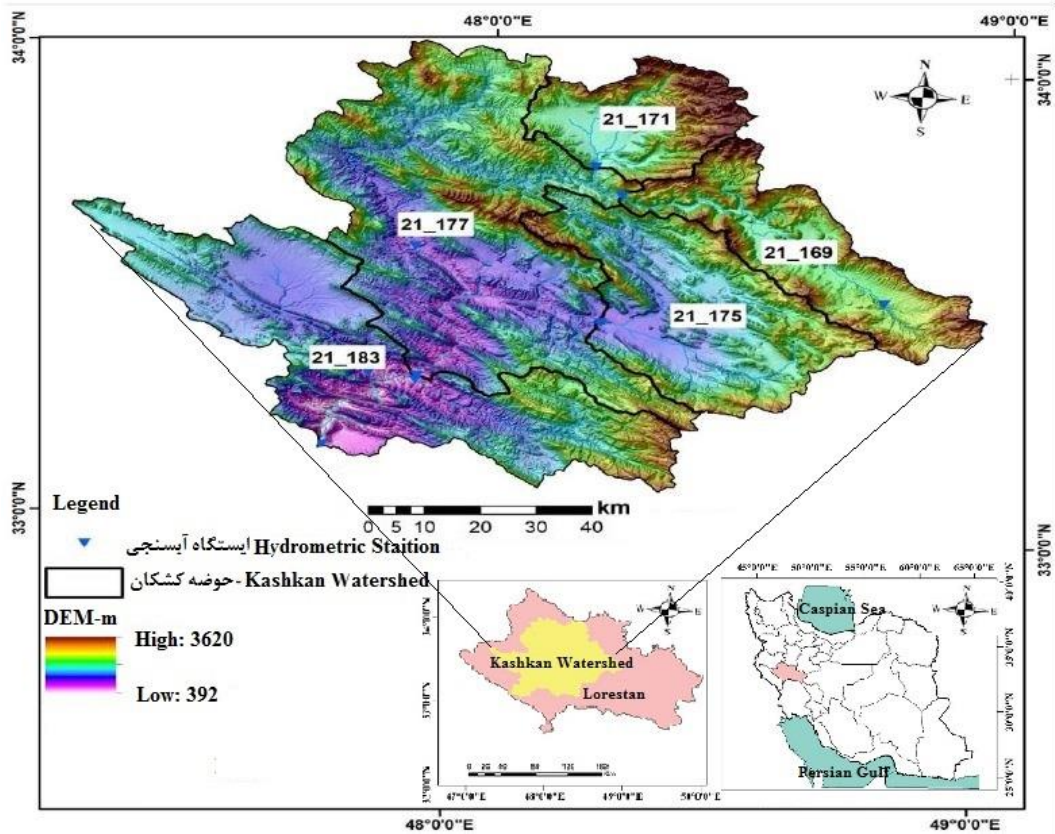
داده‌های موردنیاز برای انجام پژوهش شامل دبی جریان و بارش روزانه می‌باشند. این داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان دریافت گردید. دوره آماری داده‌ها برای دبی جریان و بارش از سال ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ می‌باشد. کامل‌ترین داده برای هر ایستگاه در بازه زمانی مذکور موجود بود و به همین علت سری زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ انتخاب شد. در ادامه با استفاده از روش فیلترهای دیجیتال برگشتی، برای هر زیرحوضه، اقدام به جداسازی آب‌پایه هیدروگراف شد. نمودار جریان‌ی روش تحقیق در شکل (۲) ارائه شده است.

زیرزمینی، به‌منظور کاربرد آن در مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون حوضه کشکان، از آب‌پایه استفاده می‌شود. رودخانه کشکان یکی از سیل‌خیزترین رودخانه‌های حوضه کرخه است (Mehdinasab, 2020). با توجه به تغییرات اقلیمی و همچنین نوساناتی که در جریان این رودخانه دیده می‌شود، ارزیابی تغییرات مقدار آب‌پایه هدر رودخانه کشکان ضروری به نظر می‌رسد و می‌تواند در مدیریت بهینه منابع آب نیز مؤثر باشد؛ بنابراین، هدف اصلی این تحقیق استفاده از فیلترهای دیجیتال برگشتی برای تحلیل هیدروگراف و تعیین شاخص آب‌پایه حوضه کشکان است. پیش‌ازاین در رابطه با جداسازی آب‌پایه در حوضه کرخه مطالعاتی صورت گرفته است که در آن به بررسی حوضه کشکان نیز پرداخته شده و تعداد کمتری از فیلترها موردبررسی قرار گرفته است ولی در تحقیق حاضر ۹ فیلتر دیجیتال برگشتی تحلیل شده است و در نتیجه دقت انجام کار در انتخاب بهترین مدل، بالا می‌رود.

#### مواد و روش‌ها

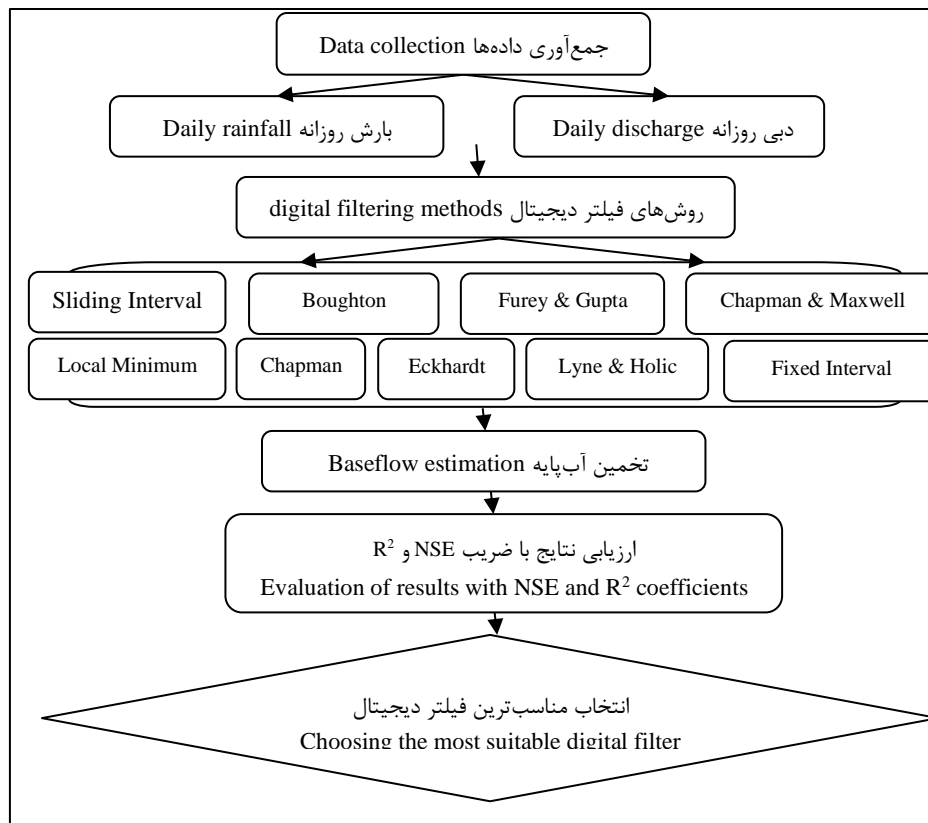
##### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کشکان با مساحتی برابر با ۲۵۴۶۶ کیلومترمربع در محل خروجی استان لرستان و در ایستگاه آب‌سنجی پلدختر، یکی از سرشاخه‌های اصلی حوزه آبخیز کرخه است. این حوضه در استان لرستان واقع شده است. بیش از ۵۰ درصد از پوشش سطحی این حوضه از سازندهای نفوذپذیر آبرفتی و آهک‌های کارستی تشکیل شده است. سازندهای زمین‌شناسی غالب شامل امیران، کنگلومرای بختیاری، آهک توده‌ای آسماری، کنگلومرای و ماسه‌سنگ کشکان، رادیولاریت، آهک دولومیتی، آهک اوبیتولین‌دار، آهک مارنی، آهک نازک لایه، مارن و کنگلومرای آغاچاری، مارن سازند



شکل ۱- موقعیت حوضه کشکان در استان لرستان و ایران

Figure 1- The location of the Kashkan watershed in Lorestan Province and Iran



شکل ۲- فلوچارت روش تحقیق

Figure 2- Flowchart of research method

جدول ۱- مشخصات زیرحوضه‌های منتخب از منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of selected sub watershed of the study area

مساحت (km <sup>2</sup> )	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	کد	ایستگاه
۱۱۳۰	۲۰۲۷	۴۸° ۱۶'	۳۳° ۴۳'	۲۱-۱۶۹	کاکارضا
۷۸۶	۲۱۰۴	۴۸° ۱۲'	۳۳° ۴۷'	۲۱-۱۷۱	سراب صیدعلی
۱۶۳۰	۱۶۵۰	۴۸° ۱۸'	۳۳° ۳۰'	۲۱-۱۷۵	چم انجیر
۶۸۴۲	۱۷۱۸	۴۷° ۵۴'	۳۳° ۱۹'	۲۱-۱۷۷	افرینه
۹۲۶۷	۱۶۳۲	۴۷° ۴۳'	۳۲° ۰۹'	۲۱-۱۸۳	پلدختر

### فیلترهای دیجیتالی برگشتی

یکی از محبوب‌ترین روش‌های جداسازی هیدروگراف، فیلترهای دیجیتالی برگشتی است. اصطلاح «دیجیتالی برگشتی» به سیستم‌هایی اشاره دارد که در آن‌ها داده‌های دیجیتالی به صورت گسسته و با فاصله‌های زمانی مشخص جمع‌آوری و برای تولید خروجی، از اطلاعات زمان‌های قبلی استفاده می‌شود (Eckhardt, 2023). فیلترهای دیجیتالی برگشتی به عنوان ابزاری معمول در تجزیه و تحلیل و پردازش سیگنال در نظر گرفته می‌شود؛ که می‌توان با انتخاب یک آستانه مناسب، سیگنال‌های دارای فرکانس بالا را از سیگنال‌های با فرکانس پایین جدا کرد. همچنین در پردازش سیگنال، عملکرد یک فیلتر فقط به حذف یک قسمت ناخواسته از سیگنال محدود نیست و شامل استخراج قسمت‌های مهم سیگنال نیز است. یک فیلتر دیجیتالی از یک پردازشگر دیجیتالی استفاده می‌نماید و محاسبات عددی را بر روی مقادیر نمونه سیگنال انجام می‌دهد. در فیلتر دیجیتالی، سیگنال به وسیله سری اعداد نمایش داده می‌شود (Dolatabadi et al., 2012).

در این پژوهش ۹ فیلتر دیجیتالی برگشتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همه محاسبات مربوط به تفکیک آب‌پایه با استفاده از ابزار SEPHYDRO انجام شده است. SEPHYDRO یک ابزار مبتنی بر وب با دسترسی باز و قابل تنظیم است که از ۱۱ الگوریتم برای جداسازی و تجزیه و تحلیل هیدروگراف‌های جریان استفاده می‌کند. SEPHYDRO از طریق یک تلاش مشترک

تحقیقاتی بین محیط زیست و تغییرات اقلیمی کانادا، کشاورزی و کشاورزی و غذای کانادا، موسسه رودخانه‌های کانادا (CRI) و دانشگاه نیوبرانزویک (فردریکتون، نیوبرانزویک، کانادا) توسعه یافته است (Danielescu et al., 2018). در ادامه به شرح الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش پرداخته می‌شود.

### روش Lyne و Hollick

روش Lyne و Hollick برای اولین بار در سال ۱۹۷۹ ارائه شد. روش مذکور به عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل پاسخ‌های جریان وابسته به زمان و پاسخ‌های آهسته یا پاسخ‌های با تأخیر به بارش طراحی شده است. این روش به ویژه برای شرایطی که جریان‌ها به طور فوری و سریع به بارش واکنش نمی‌دهند، مناسب است و می‌تواند الگوهای پیچیده‌تری از پاسخ‌های جوی را تحلیل کند. معادله فیلتر آب‌پایه از کل جریان به صورت معادله (۱) ارائه شده است.

$$q_t = \alpha \times q_{t-1} + \frac{(1 + \alpha)}{2} \times (Q_t - Q_{t-1})q_t = \alpha \times q_{t-1} + \frac{(1 + \alpha)}{2} \times (Q_t - Q_{t-1}) \quad (1)$$

در این معادله،  $q$  رواناب سطحی یا سریع [m<sup>3</sup>/s]،  $Q$  جریان رودخانه [m<sup>3</sup>/s]،  $t$  برابر است با زمانی (مثلاً روز) که رواناب سطحی برای آن محاسبه می‌شود و  $\alpha$  ثابت منحنی خشکیدگی حوزه [مقادیر بین ۰ و ۱] می‌باشد (Lyne & Hollick, 1979).

### روش Chapman

روش Chapman شکل توسعه‌یافته الگوریتم Lyne و Hollick می‌باشد.

$$\begin{aligned} b_t &= \frac{(3 \times \alpha - 1)}{(3 - \alpha)} \times b_{t-1} \\ &+ \frac{1 - \alpha}{(3 - \alpha)} \times (Q_t + Q_{t-1}) b_t \\ &= \frac{(3 \times \alpha - 1)}{(3 - \alpha)} \times b_{t-1} \\ &+ \frac{1 - \alpha}{(3 - \alpha)} \times (Q_t + Q_{t-1}) \end{aligned} \quad (۲)$$

در این معادله،  $b$  آب‌پایه [ $m^3/s$ ],  $Q$  جریان رودخانه [ $m^3/s$ ],  $t$  برابر است با زمانی (مثلاً روز) که آب‌پایه برای آن محاسبه می‌شود و  $\alpha$  ثابت فیلتر هیدرولوژیکی [مقادیر بین ۰ و ۱] می‌باشد (Chapman, 1991).

### روش Eckhardt

در سال ۲۰۰۴، Eckhardt یک الگوریتم دوپارامتری جدید برای جداسازی هیدروگراف ارائه کرد که از فیلترهای یک پارامتری قبلی الهام گرفته شده بود.

$$BF_t = \frac{\alpha BF_{t-1} + (1 - BFI_{max}) + (1 - \alpha) BFI_{max} Q_t}{1 - BFI_{max}} \quad (۳)$$

که در آن  $BF$  آب‌پایه [ $m^3/s$ ],  $Q$  جریان رودخانه [ $m^3/s$ ],  $t$  برابر است با زمانی (مثلاً روز) که جریان برای آن محاسبه می‌شود.  $\alpha$  ثابت فیلتر آب زیرزمینی [مقادیر بین ۰ و ۱]،  $BFI_{max}$  نسبت بلندمدت آب‌پایه به جریان کل [مقادیر بین ۰ و ۱] (Eckhardt, 2005).

### روش HYSEP

در سال ۱۹۷۹ توسط پتیجان و هنینگ توسعه یافت. در این روش به منظور تعیین هیدروگراف آب‌پایه، خطوط اتصال بین نقاط پایین هیدروگراف جریان رودخانه، به طور سیستماتیک ترسیم می‌شوند. نقاط پایین هیدروگراف جریان رودخانه با استفاده از یک پنجره ثابت با عرض مشخص (برابر با تعداد مجموعه‌ای از قرائت جریان رودخانه در مجموعه داده منبع) تعیین می‌شود. همه مقادیر آب‌پایه در یک بازه یا پنجره معین روی حداقل مقدار جریان در آن بازه مربوطه تنظیم می‌شوند. عرض پنجره نزدیک‌ترین عدد صحیح بین ۳

و ۱۱ می‌باشد که برابر با  $2N$  است، لازم به ذکر است که  $N$  به صورت تجربی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$N = A^{0.2} \quad (۴)$$

که در آن  $N$  تعداد روزهایی که پس از آن رواناب متوقف می‌شود؛  $A$  منطقه زهکشی [ $km^2$ ] است (Pettyjohn & Henning, 1979).

این روش شامل سه روش Sliding Fixed Interval و Interval Local Minimum است که در این پژوهش از هر سه روش استفاده شده است.

### روش Boughton

والتر بوتون در سال ۱۹۹۳، روش Boughton را همراه با مدل گسترده بارش-رواناب AWBM توسعه داد. در این روش از سطوح آب زیرزمینی برای جداسازی هیدروگراف استفاده می‌گردد و اساساً به‌عنوان یک فیلتر یک‌عبوره عمل می‌کند. در واقع این نوع فیلترها به طوری عمل می‌کنند که اطلاعات را در یک عبور از داده‌ها، بدون نیاز به بازنگری یا مرور مجدد در مراحل مختلف پردازش می‌کنند.

$$\begin{aligned} b_t &= \frac{k}{1+C} \times b_{t-1} + \frac{C}{1+C} \times Q_t b_t \\ &= \frac{k}{1+C} \times b_{t-1} \\ &+ \frac{C}{1+C} \times Q_t \end{aligned} \quad (۵)$$

که در آن  $b_t$  برابر با آب‌پایه [ $m^3/s$ ],  $Q$  جریان رودخانه [ $m^3/s$ ] می‌باشد، نیز  $t$  برابر است با زمانی (مثلاً روز) که آب‌پایه برای آن محاسبه می‌شود. همچنین  $k$  ثابت رکود آب زیرزمینی [مقادیر بین ۰ و ۱] و  $C$  ثابت شکل [مقادیر مثبت] است (Boughton, 1993).

### روش Chapman & Maxwell

روش چاپمن و ماکسول، در سال ۱۹۹۶ ارائه شد و می‌تواند به‌عنوان یک نسخه ساده‌شده از فیلتر بوتون در سال ۱۹۹۳ در نظر گرفته شود.

$$\begin{aligned} b_t &= \frac{1}{2-k} \times b_{t-1} + \frac{1-k}{2-k} \times Q_t b_t \\ &= \frac{1}{2-k} \times b_{t-1} \\ &+ \frac{1-k}{2-k} \times Q_t \end{aligned} \quad (۶)$$

$$\begin{aligned} & \text{Nash - Sutcliffe} \\ & = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \text{Nash} \\ & - \text{Sutcliffe} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

$R^2 - 2$ : در ضریب تعیین فرض بر این است که هر متغیر مستقل مشاهده شده در مدل، تغییرات موجود در متغیر وابسته را تبیین می‌کند. مقدار هر چه به یک نزدیک‌تر باشد دقت برآورد بیشتر است (Mohammadi & Kashefipour, 2011).

$$\begin{aligned} R^2 & = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_o - \bar{Q})^2} R^2 \\ & = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_o - \bar{Q})^2} \end{aligned} \quad (9)$$

که در روابط مذکور  $n$ : تعداد کل مقادیر محاسبه‌شده و مشاهداتی برای هر حوزه آبخیز.  $Q_o$  و  $Q_s$ : دبی مشاهداتی و محاسبه شده (mm).  $\bar{Q}$ : میانگین داده‌های مشاهداتی (mm). اندازه‌گیری مقادیر آب‌پایه و تغذیه آب زیرزمینی در طبیعت به سهولت قابل انجام نیست. نسبت آب‌پایه به کل جریان رودخانه به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن آب‌پایه تعریف شده است. لذا بهترین راه استفاده از روش‌های مقایسه‌ای پیشنهادشده توسط سایر پژوهشگران می‌باشد. یکی از راه‌هایی که به‌منظور انتخاب روش مناسب می‌توان از آن استفاده نمود، انتخاب روش BFI به‌عنوان مبنای مقایسه‌ها می‌باشد (Zarei et al., 2020). در روش BFI با ورود داده‌های دبی روزانه ایستگاه مورد مطالعه به برنامه BFI، مقدار آب‌پایه روزانه محاسبه شد. در این تحقیق نتایج حاصل از روش BFI به‌عنوان مقادیر مشاهداتی و نتایج سایر روش‌ها به‌عنوان مقادیر برآوردی در نظر گرفته شد.

### نتایج

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل داده‌های آب‌پایه در زیرحوضه‌های مختلف نشان می‌دهد که روش‌های مختلف تحلیل آب‌پایه تأثیر قابل توجهی بر تخمین دقت این مقادیر دارند. با توجه به شکل (۳)، در این پژوهش، در اکثر زیرحوضه‌ها دو روش Lyne و Holick

که در آن  $b$  برابر با آب‌پایه  $[m^3/s]$ ،  $Q$  جریان رودخانه  $[m^3/s]$ ،  $t$  زمانی (به‌عنوان مثال روز) که آب‌پایه برای آن محاسبه می‌شود و  $k$  ثابت رکود [مقادیر بین ۰ و ۱] می‌باشد (Chapman & Maxwell, 1996).

### روش Furey and Gupta

روش Furey و Gupta در سال ۲۰۰۱ ارائه شد. این روش بر اساس یک تئوری فیزیکی-آماري جریان‌های کم جریان که توسط Furey و Gupta ایجاد شده است، شکل گرفت.

$$\begin{aligned} b_t & = (1 - \gamma) \times b_{t-1} \\ & + \gamma \times \frac{C_3}{C_1} \times (Q_{t-d-1} \\ & - b_{t-d-1}) b_t \\ & = (1 - \gamma) \times b_{t-1} \\ & + \gamma \times \frac{C_3}{C_1} \times (Q_{t-d-1} \\ & - b_{t-d-1}) \end{aligned} \quad (7)$$

که در آن  $b_t$  برابر است آب‌پایه  $[m^3/s]$ ؛  $Q$  جریان رودخانه  $[m^3/s]$  و  $t$  نیز زمانی (مثلاً روز) که آب‌پایه برای آن محاسبه می‌شود. همچنین  $\gamma$  برابر با ثابت رکود [مقادیر بین ۰ و ۱]،  $c_1$  نسبت جریان زمینی به بارندگی،  $c_3$  نسبت تغذیه آب زیرزمینی به بارندگی و  $d$  تأخیر زمانی بین بارندگی و تغذیه آب زیرزمینی [d] می‌باشد (Gupta & Furey, 2001).

### معیارهای ارزیابی الگوریتم‌ها

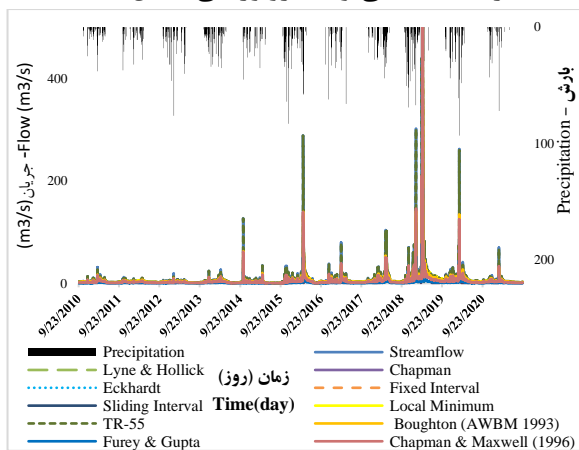
بعد از اجرای مدل‌ها، جهت ارزیابی کمی و مقایسه عملکرد و همچنین تجزیه و تحلیل آن‌ها از معیارهای زیر استفاده شد.

۱- معیار نش-ساتکلیف ( $NSE^1$ ): هرچه مقدار ضریب  $NSE$  نزدیک به ۱ باشد، مدل دارای عملکرد بهتری است. به عبارتی اگر میزان  $NSE$  از ۰/۷۵ بزرگ‌تر باشد، نتایج ارزیابی خوب توصیف می‌شود، ولی در صورتی که مقدار  $NSE$  بین ۰/۳۶-۰/۷۵ باشد، نتایج حاصل از مدل رضایت‌بخش می‌باشد (Motovilov & et al., 1999). این معیار را می‌توان به صورت رابطه (۸) نوشت.

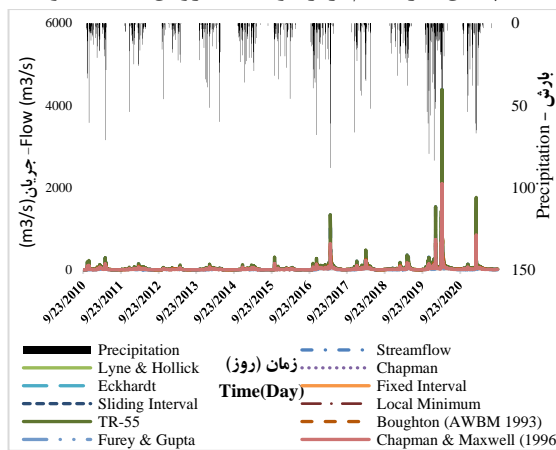
<sup>1</sup> Nash-Sutcliffe efficiency

Gupta کمترین مقادیر متوسط سالانه آب‌پایه را نشان داده است. این ضعف در ارزیابی آب‌پایه می‌تواند ناشی از ساختار خاص این روش باشد که ممکن است نتواند به صورت بهینه تغییرات جریان آب را در پاسخ به متغیرهای محیطی و هیدرولوژیکی دنبال کند.

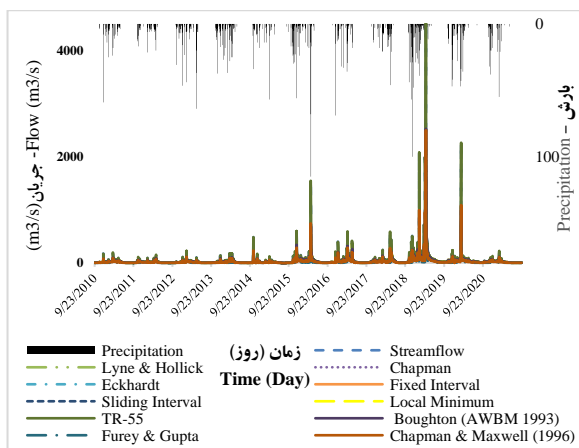
و Fixed Interval در اکثر زیرحوضه‌ها، بالاترین مقادیر متوسط سالانه آب‌پایه را ارائه داده‌اند. این نشان‌دهنده توانایی این روش‌ها در شبیه‌سازی صحیح رفتار هیدرولوژیکی در شرایط مختلف اقلیمی و جغرافیایی است. همچنین در تمام زیرحوضه‌ها، روش Furey و



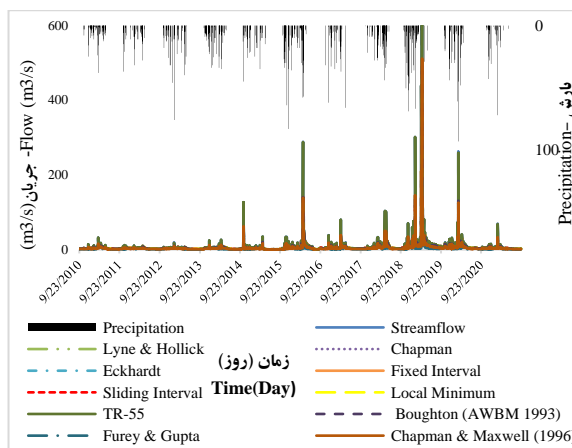
زیرحوضه چم انجیر



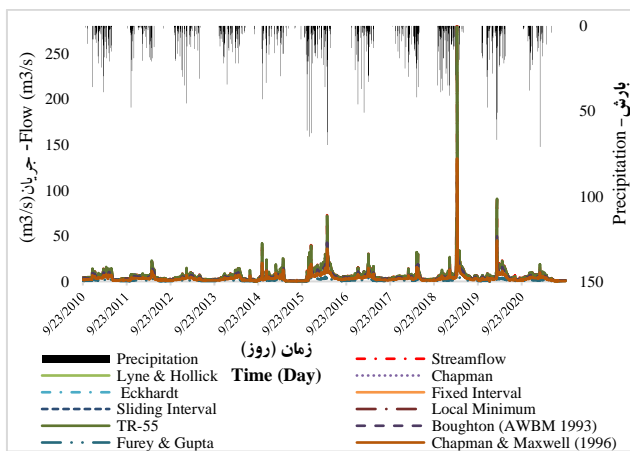
زیرحوضه آفرینه



زیرحوضه پلدختر



زیرحوضه کاکارضا



زیرحوضه سراب صیدعلی

شکل ۳- جداسازی آب‌پایه با استفاده از تمامی روش‌های فیلتر برگشتی در زیرحوضه‌های موردنظر

Figure 3- Separation of base flow using all return filter methods in the desired sub-watersheds

توجه عواملی نظیر شیب، نوع خاک، پوشش زمین و تغییرات اقلیمی بر روی رسوب و جریان‌های سطحی است. شناسایی این عوامل و درک نحوه تأثیرگذاری آنها بر روی منابع آب، می‌تواند در مدیریت بهینه و پایدار منابع آب راهگشا باشد.

در جدول (۲) پارامترهای مورداستفاده در روش‌های مختلف و نیز نسبت آب‌پایه به کل جریان رودخانه، ارائه شده است. با توجه به جدول (۲) دامنه تغییرات میانگین آب‌پایه در زیرحوضه‌های مختلف، از ۱۷ تا ۹۹ درصد متغیر است. این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر قابل

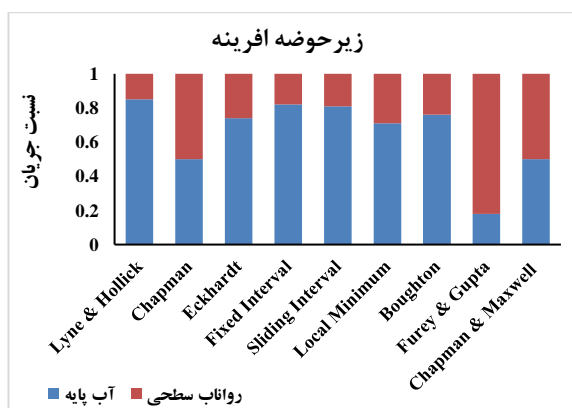
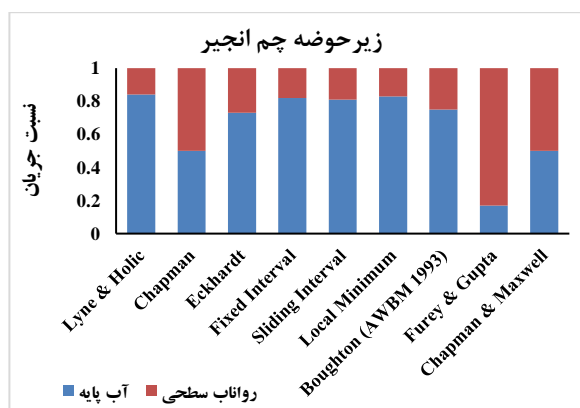
جدول ۲- پارامترهای مورداستفاده و مقادیر BFI حاصل از تمامی روش‌ها در زیرحوضه‌های موردنظر

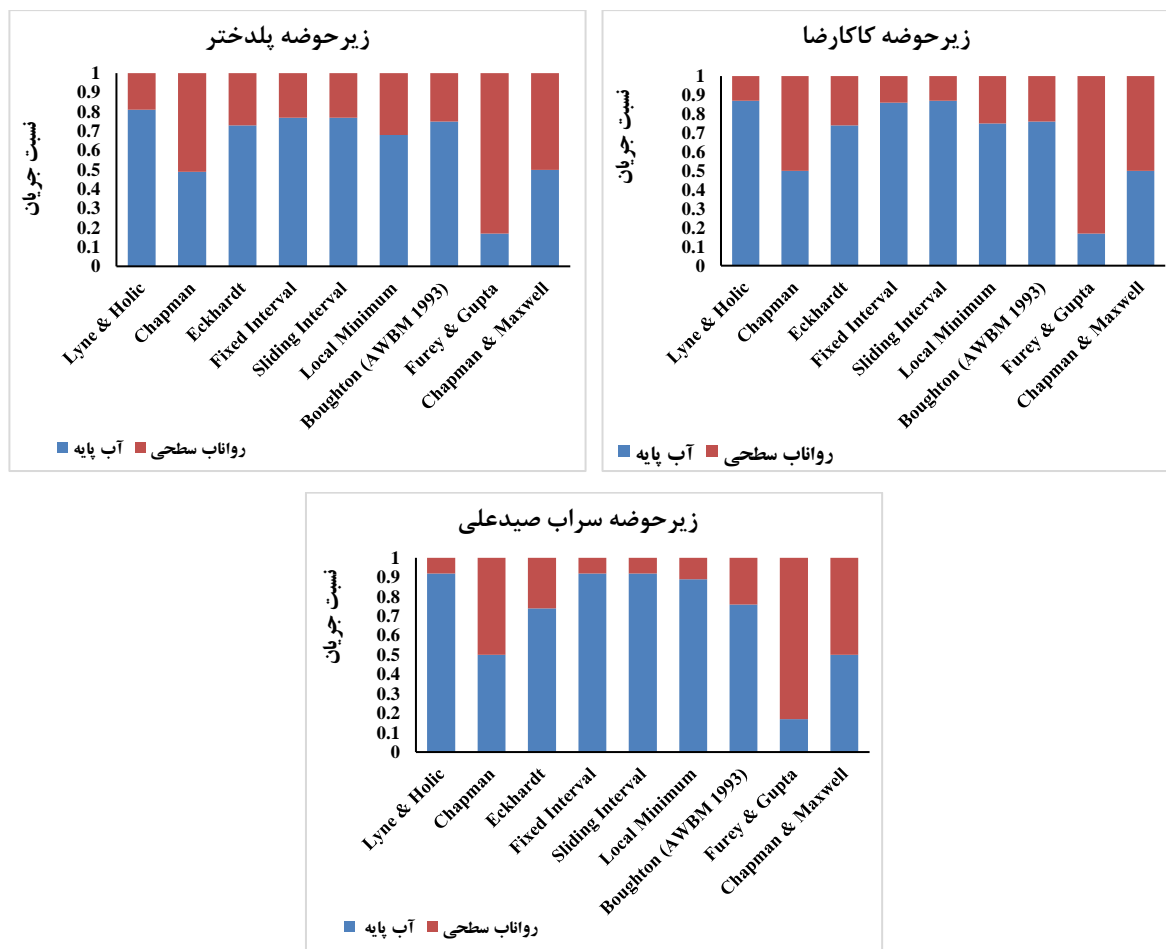
Table 1- Parameters used and BFI values obtained from all methods in the desired sub-watersheds

سرآب صیدعلی		پلدختر		کاکارضا		چم انجیر		افرینه		پارامترها	روش
BFI	BF (m <sup>3</sup> /s)	BFI	BF (m <sup>3</sup> /s)	BFI	BF (m <sup>3</sup> /s)	BFI	BF (m <sup>3</sup> /s)	BFI	BF (m <sup>3</sup> /s)		
0.89	5.73	0.68	30.26	0.75	8.40	0.73	6.24	0.70	25.95	Interval Width = 3	Local Minimum
0.92	5.94	0.77	34.40	0.87	9.72	0.81	6.98	0.81	29.7	Interval Width = 3	Sliding Interval
0.92	5.95	0.77	34.30	0.86	9.60	0.82	7.04	0.82	30.11	Interval Width = 3	Fixed Interval
0.74	4.81	0.73	32.52	0.74	8.32	0.73	6.29	0.83	27.39	$\alpha = 0.830$ , BFmax = 0.750	Eckhardt
0.50	3.21	0.49	22.16	0.50	7.57	0.50	4.26	0.50	18.30	$\alpha = 0.500$	Chapman
0.50	3.22	0.50	22.19	0.50	5.58	0.50	4.27	0.50	18.32	k = 0.1	Chapman & Maxwell
0.92	5.97	0.81	36.10	0.87	9.70	0.84	7.22	0.85	30.96	$\alpha = 0.750$	Lyne & Holick
0.17	1.13	0.17	7.76	0.17	1.95	0.17	1.50	0.17	6.41	C1 = 3.5, C3 = 3.5, g = 0.05, d = 0 days	Furey & Gupta
0.76	4.94	0.75	33.53	0.76	8.55	0.75	6.47	0.75	27.82	k = 0.82, C = 0.6	Boughton

آب‌پایه داشته باشند. لازم به ذکر است که در بین الگوریتم‌های موردبررسی در بیشتر زیرحوضه‌ها (افرینه، چم انجیر، کاکارضا و پلدختر) روش‌های Chapman، Eckhardt و Maxwell و همچنین Furey و Gupta کمترین میزان آب‌پایه و بیشترین میزان جریان سطحی را تعیین کردند. می‌توان علت این امر را در پیچیده‌تر بودن این روش‌ها و پارامترهای بیشتری که در آن‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد دانست.

بر اساس شکل (۴) در بیشتر زیرحوضه‌ها روش‌های HYSEP بیشترین میزان آب‌پایه را نشان می‌دهد. به‌طور کلی علت بیشتر بودن آب‌پایه نسبت به رواناب سطحی را می‌توان در خصوصیات حوضه جستجو کرد. عواملی همچون زمین‌شناسی منطقه، تأثیرات انسانی، پوشش گیاهی و خاک در میزان جریان حوضه دخیل هستند. روش Local Minimum به ویژگی‌های خاص حوضه، مانند نوع خاک، پوشش گیاهی و بارش‌های قبلی توجه می‌کند. این عوامل می‌توانند تأثیر زیادی بر



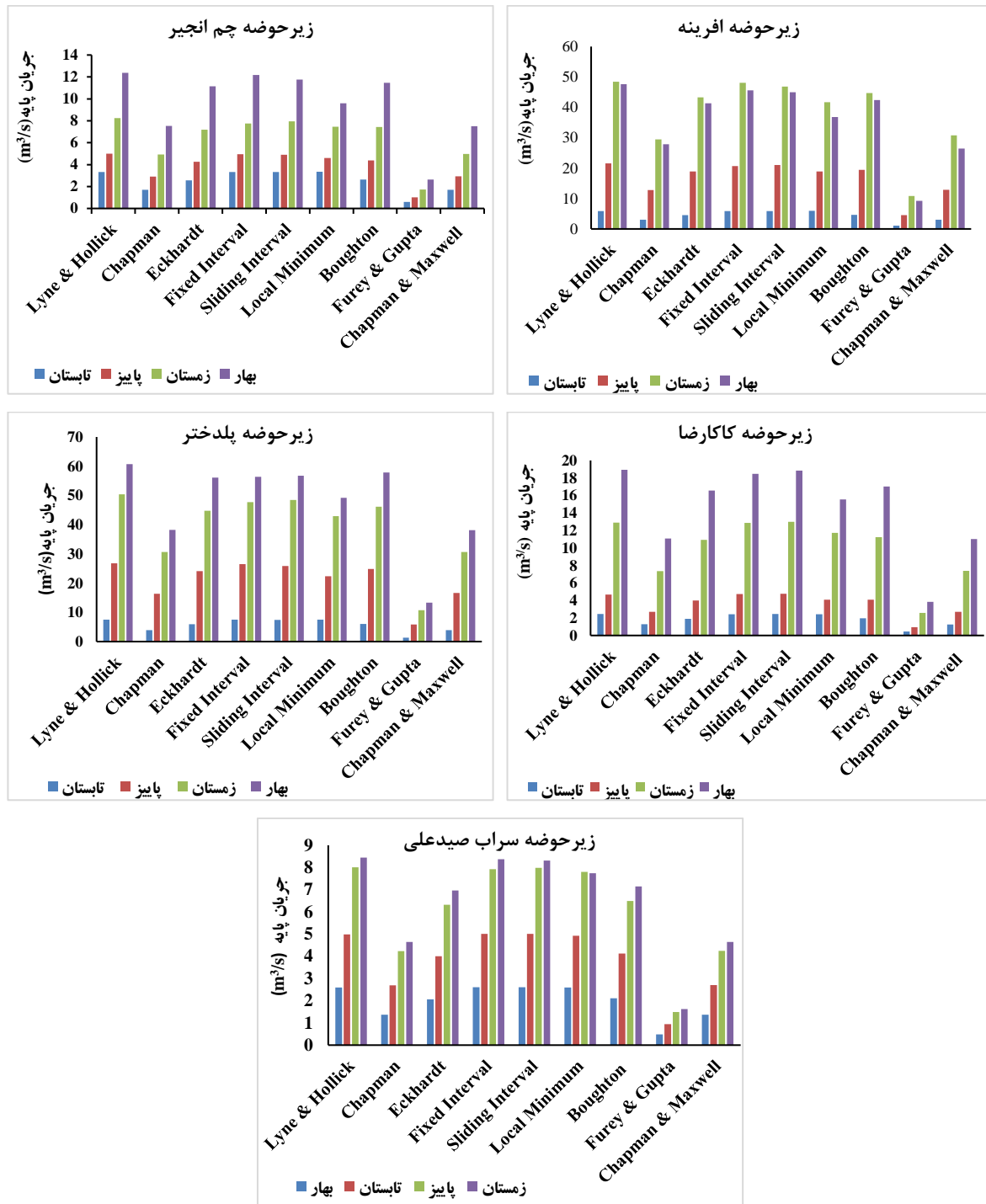


شکل ۴- مقایسه‌ی آب‌پایه حاصل از تمام روش‌ها در زیرحوضه‌های موردنظر

Figure 4- Comparison of base flow results from all methods in the desired sub-watersheds

اختلاف زیادی وجود دارد. کمترین مقدار آن در تمامی روش‌ها مربوط به فصل پاییز و بیشترین مقدار آن نیز به فصل بهار اختصاص دارد. در زیرحوضه پلدختر در تمامی روش‌ها مقدار آب‌پایه تخمینی در فصل بهار بیشتر از فصل زمستان است. در اینجا نیز فصل تابستان (خشک) کمترین مقدار آب‌پایه مربوط به روش Furey و Gupta می‌باشد. در زیرحوضه سراب صیدعلی، در فصل بهار و زمستان مقدار آب‌پایه تخمینی در تمامی روش‌ها با اختلاف ناچیزی همراه است و مقادیر آن‌ها بسیار نزدیک به هم است. علاوه بر این مقدار آب‌پایه برای ۳ روش Sliding Interval، Lyne و Holick و Fixed Interval مشابه تخمین زده شده است.

با توجه به شکل (۵) در زیرحوضه افرینه در تمامی روش‌ها برای فصل مرطوب، بیشترین آب‌پایه تخمین زده شده مربوط به فصل زمستان می‌باشد. در کلیه روش‌ها مقدار آب‌پایه در فصل زمستان و بهار نسبت به فصل پاییز بیشتر است. برای فصل تابستان (خشک) نیز آب‌پایه برقرار است. در زیرحوضه چمن‌انجیر بیشترین مقدار آب‌پایه برای فصل مرطوب، در تمامی روش‌ها مربوط به فصل بهار است. به طوری که اختلاف زیادی بین فصل بهار و فصل پاییز مشاهده می‌شود. برای فصل تابستان (خشک) در روش‌های Sliding Interval، Fixed Interval و Lyne، Local Minimum و Holick مقدار آب‌پایه بیشترین مقدار را نشان می‌دهد و اختلاف کمی بین مقدار تخمینی آن‌ها وجود دارد. در زیرحوضه کاکارضا بین مقدار آب‌پایه در هر ۳ فصل مرطوب



شکل ۵- مقایسه آب‌پایه فصول مرطوب و خشک در زیرحوضه‌های موردنظر

Figure 5- Comparison of water base in wet and dry seasons in the desired sub-watersheds

به چم انجیر و سراب صیدعلی است. علت بالا بودن جریان در پلدختر و افرینه این است که این است که در پایین دست حوضه کشکان قرار دارند و آب ایستگاه‌های دیگر به به سوی آنها جاری می‌شود.

### بحث

در جدول (۳) BFI مربوط به هر زیرحوضه ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) بیشترین مقدار جریان مربوط به پلدختر و افرینه و کمترین مقدار آن مربوط

جدول ۳- میانگین شاخص آب‌پایه مشاهداتی

Table 3- Average observed baseflow index

سرآب صیدعلی		پلدختر		کاکارضا		چم انجیر		افرینه		حوضه
جریان کل	آب‌پایه	جریان کل	آب‌پایه	جریان کل	آب‌پایه	جریان کل	آب‌پایه	جریان کل	آب‌پایه	
0.767		0.683		0.697		0.698		0.775		شاخص آب‌پایه
35.18	282	997.70	5237	249.97	810	193.19	1060	797.7	4385	حداکثر جریان
0.465	0.465	0	0	0.20	0.20	0.24	0.27	0.461	0.461	حداقل جریان
4.94	6.45	30.33	44.38	7.77	11.15	5.96	8.54	27.67	36.64	میانگین جریان

بنابراین می‌توان این الگوریتم را به‌عنوان یک روش مناسب برای برآورد مقدار آب‌پایه در زیرحوضه‌های موردبررسی در حوضه کشکان دانست. این الگوریتم به دلیل رویکردهای خاص خود در تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی، می‌تواند آب‌پایه را به‌طور تقریبی نزدیک به واقعیت تخمین بزنند. در واقع این روش بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های جریان و بارش عمل می‌کند و از یک الگوریتم خاص برای تفکیک آب‌پایه از رواناب استفاده می‌کند. باتوجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه، این روش می‌تواند نوسانات طبیعی آب‌پایه را بهتر شبیه‌سازی کند.

ارزیابی کارایی مدل در هنگام ارائه نتایج پژوهش بسیار حائز اهمیت است (Schaeffli & Gupta, 2007). در این پژوهش مطابق با پژوهش Zare و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش BFI مقادیر مشاهداتی آب‌پایه تعیین شدند و برای مقایسه با مقادیر حاصل از الگوریتم مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۴)، دقت روش‌های تفکیک جریان در حوضه‌ی مورد مطالعه متفاوت بوده و در مواردی نیز پایین است. بر اساس این جدول، در تمامی زیرحوضه‌های مورد بررسی، الگوریتم Lyne و Holick دارای مقدار ضریب NSE و مقدار  $R^2$  مناسبی است؛

جدول ۴- نتایج مقایسه روش‌های فیلتری تفکیک آب‌پایه با استفاده از معیار NSE و  $R^2$

Table 4- Results of comparing baseflow separation filter methods using NSE and  $R^2$

سرآب صیدعلی		پلدختر		کاکارضا		چم انجیر		افرینه		حوضه
NSE	$R^2$	NSE	$R^2$	NSE	$R^2$	NSE	$R^2$	NSE	$R^2$	روش
<b>0.86</b>	<b>0.91</b>	<b>0.75</b>	<b>0.77</b>	<b>0.80</b>	<b>0.80</b>	<b>0.78</b>	<b>0.80</b>	<b>0.74</b>	<b>0.78</b>	Local Minimum
<b>0.82</b>	<b>0.93</b>	0.13	0.74	0.32	0.79	<b>0.66</b>	<b>0.85</b>	<b>0.88</b>	<b>0.83</b>	Sliding Interval
<b>0.80</b>	<b>0.92</b>	<b>0.80</b>	<b>0.84</b>	<b>0.63</b>	<b>0.85</b>	0.39	0.78	<b>0.70</b>	<b>0.83</b>	Fixed Interval
<b>0.80</b>	<b>0.83</b>	0.35	0.80	0.59	<b>0.86</b>	0.33	0.83	0.36	0.73	Eckhardt
0.57	0.78	<b>0.60</b>	<b>0.72</b>	<b>0.77</b>	<b>0.81</b>	0.64	0.76	0.54	0.66	Chapman
0.38	0.59	0.22	0.55	0.65	0.72	0.28	0.60	0.18	0.47	Chapman & Maxwell
<b>0.83</b>	<b>0.95</b>	<b>0.71</b>	<b>0.90</b>	<b>0.64</b>	<b>0.92</b>	<b>0.61</b>	<b>0.91</b>	<b>0.73</b>	<b>0.89</b>	Lyne & Holic
-0.57	0.57	0.28	0.53	0.31	0.71	0.27	0.57	0.32	0.45	Furey & Gupta
0.75	0.81	0.20	0.77	0.50	0.85	0.18	0.81	0.23	0.71	Boughton

موارد برجسته در جدول نشان‌دهنده ضرایب مناسب به‌دست‌آمده، برای روش‌های مورد بررسی در زیرحوضه‌ها هستند. به‌عبارتی هرچه مقدار ضریب NSE و  $R^2$  نزدیک به ۱ باشد (مثلاً بیشتر از ۰/۷۵)، مدل دارای عملکرد بهتری است. مقادیری که در جدول بولد شده‌اند الگوریتم‌هایی هستند که هم مقدار NSE و هم  $R^2$  برای آنها مقدار مناسبی است.

نشان داده شد که شاخص آب‌پایه بیش از ۵۰ درصد از جریان رود را در طول سال تشکیل می‌دهد. در این پژوهش، نتایج ارزیابی ۹ روش رقومی نشان داد که در بیشتر روش‌ها، همبستگی مناسبی بین داده‌های محاسباتی و مشاهداتی وجود دارد و بنابراین روش‌هایی مانند Fixed و Sliding Interval، Holick و Lyne

رودخانه‌ی کشکان از رودخانه‌های پر آب استان لرستان است که در تمام طول سال آب در آن جریان دارد. آب‌پایه در حوزه آبخیز کشکان لرستان بخش زیادی از جریان را تشکیل می‌دهد (Negareh *et al.*, 2012). در اکثریت روش‌های مورد بررسی در این پژوهش نیز

سیلاب شدید روبرو بوده است. در نتیجه نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برای مقابله با این نوسانات می‌باشد. به منظور مدیریت منابع آب بایستی،

- ۱- جمع‌آوری و تحلیل داده‌های آب‌وهوا برای پیش‌بینی نوسانات انجام گیرد؛
- ۲- ساخت سدها و سیستم‌های آبیاری کارآمد برای مدیریت بهتر منابع آب توسعه داده شوند؛
- ۳- جوامع محلی در خصوص استفاده بهینه از آب و حفظ منابع طبیعی آموزش داده شوند؛

و سیاست‌های مؤثر برای حفاظت از منابع آب و مقابله با تغییرات اقلیمی ایجاد و اجرا شوند.

لازم به ذکر است که تخمین‌های انجام شده در این پژوهش نشان داد که آب‌های زیرزمینی سهم قابل توجهی از کل جریان در حوضه کشکان را تشکیل می‌دهند. در این رابطه با ارتباط بین آب‌پایه و تغذیه‌ی آب زیرزمینی می‌توان گفت که در طول جریان رودخانه بخشی از آب‌پایه رودخانه که با بستر رودخانه در تماس است، به دلیل وجود تخلخل در بستر و کناره‌های رودخانه، به تدریج به درون زمین نفوذ می‌کند. همچنین نوسانات سطح آب رودخانه بر میزان تغذیه آبخوان‌ها تأثیرگذار است. در دوره‌های پربابی، میزان تغذیه افزایش یافته و در دوره‌های کم‌آبی، این میزان کاهش می‌یابد. این نکته اهمیت مدیریت منابع آب زیرزمینی را در راستای تأمین آب و حفظ محیط‌زیست نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش و معیارهای ارزیابی، در زیرحوضه‌های موردبررسی، روش‌های Local Minimum، Lyne و Holick، Sliding Interval و Fixed Interval به عنوان روش‌های مناسب برای جداسازی آب‌پایه تعیین شدند؛ بنابراین در حوزه آبخیز کشکان می‌توان با اطمینان بیشتری نسبت به صحت نتایج، از این روش‌ها برای جداسازی آب‌پایه استفاده نمود. آب‌پایه به پایداری منابع آب در دوره‌های خشکسالی کمک می‌کنند و از افت سطح آب‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کنند. اطلاع از آب‌پایه در

Interval پس از ارزیابی نتایج از اعتماد کافی برای جداسازی آب‌پایه برخوردار هستند. Azarinvand و همکاران (۲۰۲۲)، به ارزیابی روش‌های جداسازی آب‌پایه در حوزه آبخیز گل‌گل، ایلام پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها به ترتیب روش‌های Lyne و Holick و Eckhart، به عنوان مناسب‌ترین روش برای تعیین آب‌پایه انتخاب شدند. این نتیجه با پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد، در پژوهش حاضر روش Lyne و Holick در هر ۵ زیرحوضه، به علت دارا بودن ضرایب ارزیابی مناسب به عنوان یک روش مناسب برای جداسازی آب‌پایه تعیین شد. در پژوهش دیگری که Latuamury و همکاران (۲۰۲۲) الگوریتم‌های یک پارامتره، دو پارامتره، Lyne و Holick، Chapman و Eckhart برای جداسازی آب‌پایه در حوزه آبخیز Wae Batu Gajah استفاده کردند. برخلاف این پژوهش فیلتر Eckhart به عنوان مناسب‌ترین روش برای برآورد آب‌پایه انتخاب شد.

بر اساس نتایج پژوهش Gharechaei و همکاران (۲۰۱۵)، به طور کلی در طی ۴۰ سال گذشته رواناب حوزه آبخیز کشکان به طور معنی‌داری کاهش یافته است. نقطه شروع تغییر در رواناب را می‌توان بازتاب‌کننده شروع اثرات توامان اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر رواناب دانست (Gharechaei et al., 2015). با توجه به تغییرات شدید اقلیمی و خشکسالی‌های دوره‌ای ایران و منطقه موردپژوهش، ارزش‌دهی به آب‌پایه به عنوان آب موردنیاز فعالیت‌های محیط‌زیستی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بایستی مدنظر تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد. چراکه آب‌پایه نقش حیاتی در حفظ اکوسیستم‌های آبی و خشکی دارند. علاوه بر این بر اساس داده‌های دوره‌ی آماری موردبررسی، تا اواسط طول دوره‌ی آماری حوضه کشکان با پدیده‌ی خشک‌سالی و پایین بودن میزان دبی جریان در رودخانه مواجه است و این نشان‌دهنده کمبود بارش است؛ ولی پس از آن میزان بارش روند افزایشی و کاهشی یافته است و دچار نوساناتی شده است، به طوری که یک سال با خشک‌سالی و یک سال با

مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش به تفکیک آب‌پایه در حوزه‌ی آبخیز کشکان با استفاده از روش‌های دیجیتال برگشتی پرداخته شد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از روش‌های دیگری همچون روش‌های شیمیایی و ردیاب نیز برای تفکیک آب‌پایه در حوزه‌ی آبخیز کشکان استفاده شود و نتایج و دقت این روش‌ها با روش‌های دیجیتال برگشتی مورد مقایسه قرار گیرد.

## References

- Aboelnour, M. A., Engel, B. A., Frisbee, M. D., Gitau, M. W., & Flanagan, D. C. (2021). Impacts of watershed physical properties and land use on baseflow at regional scales. *J. Hydrol.: Reg. Stud.* 35, 100810. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100810>
- Azarinvand, F., Tavakoli, M., & Karimi, H. (2022). Efficiency assessment of baseflow separation methods in Gol-Gol Catchment, Ilam. *Environment and Water Engineering*. 8(2), 379-394. <https://doi.org/10.22034/jewe.2021.297503.1602> (In Persian)
- Biagi, K. M., Ross, C. A., Oswald, C. J., Sorichetti, R. J., Thomas, J. L., & Wellen, C. C. (2022). Novel predictors related to hysteresis and baseflow improve predictions of watershed nutrient loads: an example from ontario's lower great lakes basin. *Sci. Total Environ.* 826, 154023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154023>
- Boughton, W. C. (1993). *A hydrograph-based model for estimating water yield of ungauged catchments*. Institute of Engineers Australia National Conference. Publ. 93/14, pp. 317-324.
- Chapman, T. (1991) - Comment on evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses, by RJ Nathan and TA McMahon. *Water Resources Research*, 27(7), pp. 1783-1784. <https://doi.org/10.1029/91WR01007>
- Chapman, T. G., & Maxwell, A. I. (1996) - Baseflow separation - comparison of numerical methods with tracer experiments, in *Hydrol. and Water Resour. Symp., Institution of Engineers Australia, Hobart*. pp. 539-545.
- Chen, H., Huang, S., Xu, Y. P., Teegavarapu, R. S., Guo, Y., Nie, H., & Xie, H. (2024). Using baseflow ensembles for hydrologic hysteresis characterization in humid basins of Southeastern China. *Water Resources Research*, 60(4), e2023WR036195. <https://doi.org/10.1029/2023wr036195>
- Cheng, S.Y., Tong, X., & Illman, W.A. (2022). Evaluation of baseflow separation methods with real and synthetic streamflow data from a watershed. *J. Hydrol*, 613, 128279. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128279>
- Cronshey, R. (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release 55, United States Department of Agriculture.
- Danielescu, S., MacQuarrie, K. T. B., & Popa, A. (2018). SEPHYDRO: A customizable online tool for hydrograph separation. *Groundwater*, 56, 589-593. <https://doi.org/10.1111/gwat.12792>
- Dolatabadi, N., Faridhosseini, A., Davari, K., & Mosaedi, A. (2012). *Baseflow estimation using recursive digital filter methods and BFI\_0.3 software (Case Study of Part of Maharlu-Bakhtegan Basin)*, The Third National Conference on Comprehensive Water Resources Management.
- Duan, H., Li, L., Kong, Z., & Ye, X. (2024). Combining the digital filtering method with the SWAT model to simulate spatiotemporal variations of baseflow in a mountainous river basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, 101972. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101972>
- Eckhardt, K. (2005) How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrol. Process*, 19, 507-515. <https://doi.org/10.1002/hyp.5675>
- Eckhardt, K. (2023). How physically based is hydrograph separation by recursive digital filtering? *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(2), 495-499. <https://doi.org/10.5194/hess-27-495-2023>
- Furey, P. R., & Gupta, V. K. (2001). A physically based filter for separating base

- flow from streamflow time series. *Water Resource Research*, 37 (11), 2709–2722. <https://doi.org/10.1029/2001WR00024>
- Gharechaei, H., Moghaddamnia, A., Malekian, A., & Ahmadi, A. (2015). Response of streamflow to climate variability and human activity in Kashkan river basin. *Watershed Engineering and Management*, 7(3), 255-264. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.101632>
- He, S.J., Yu, K., Tang, Z.X., Yan, Y., & Zhang, F. F. (2022). Impacts of parameter uncertainty on baseflow separation by a two-parameter recursive digital filter. *Hydrol. Process*, 36 (3), e14512. <https://doi.org/10.1002/hyp.14512>
- Kazemi, R., Porhemmat, J., & Ghermezcheshmeh, B. (2022). Investigation of the hydrological response to meteorological drought in kashkan sub-catchments. *Environment and Water Engineering*, 8(3), 682-697. <https://doi.org/10.22034/jewe.2022.317026.1683>
- Kazemi, R., & Porhemmat, J. (2020). Calibration of recursive digital filters to separate the base flow, case study: Karkheh Basin. *Watershed Engineering and Management*, 12(1), 30-43. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.122117.1490> (In Persian)
- Kaviani, M., Hematifard, H & kardan moghaddam, H. (2022). The impact of conflict of interests of activists on the emergence of hydro-political challenges (case study: influencers and stakeholders of Gaushmar dam in Lorestan province). *Political Spatial Plannin*, 4 (4), 303-320. (In Persian)
- Khourshid Doust, A. M., Rezaei Banafsheh, M., Mir Hashemi, H., & Kakolvand, Y. (2016). studying the trend of changes in precipitation - discharge the karkhe rive sub-basin using non-parametric methods, case study: kashkan basin. *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(4), 177-188. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.11804>
- Latuamury, B., Osok, R. M., Puturu, F., & Imlabla, W. N. (2022). Baseflow separation using graphic method of recursive digital filter on wae batu gajah watershed, ambon city, maluku. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 989, 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/989/1/012028>
- Lott, D. A., & Stewart, M. T. (2013). A power function method for estimating base flow. *Ground Water*, 51 (3), 442–451. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2012.00980>
- Lyne, V., & Hollick, M. (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. hydrology and water resources symposium. *Institution of Engineers, Australia, Perth*, pp. 89–92.
- Mehdinasab, M. (2020). Survey of 1 april flood in kashkan catchment in lorestan province and presenting solutions. *Environment and Interdisciplinary Development*, 67, 17-30. <https://doi.org/10.22034/envj.2020.181143>
- Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., & Ghorbani, A. (2019). Graphical and recursive digital filter techniques in the separation of base flow, A comparison in Ardabil Province rivers. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), pp.95-113. <https://doi.org/10.22069/JWSC.2019.10737.2514> (In Persian)
- Mohammadi, S., & Kashefipour, M. (2011). Numerical modeling of flow using an improved dynamic roughness coefficient (Case study: Karun River). *Irrigation and Water Engineering*, 2(1), 99-110. (In Persian)
- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K., & Rohde, A. (1999). Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Agriculture and Forest Meteorology*, 98-99, 257-277. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00102-1)
- Murray, J., Ayers, J., & Brookfield, A. (2023). The impact of climate change on monthly baseflow trends across Canada. *Journal of Hydrology*, 618, 129254. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129254>
- Nathan, R. J & McMahon, T. A. (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resour. Res.* 26 (7), 1465–1473. <https://doi.org/10.1029/WR026i007p01465>
- Negararesh, H., tavousi, T., & mehdi nasab, M. (2012). Modeling production runoff in the of basin river kashkan by statistical models. *Journal of Urban Ecology Researches*, 3(6), 81-92.

- <https://doi.org/20.1001.1.25383930.1391.3.6.6.4> (In Persian)
- Nejadhashemi, A. P., Shirmohammadi, A., Sheridan, J. M., Montas, H.J., & Mankin, K. R. (2009). Case study: evaluation of streamflow partitioning methods. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 135 (6), 791–801. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000093](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000093)
- Pettyjohn W.A., & Henning R. (1979). *Preliminary estimate of ground-water recharge rates, related streamflow and water quality in Ohio*: Ohio State University Water Resources Center Project Completion Report Number, 552, p. 323.
- Riazi, M., Khosravi, Kh., Riahi Samani, M., Han, Sh., Eslamian, S., (2024). Assessing groundwater drought vulnerability through baseflow separation and index-based analysis under climate change projections. *Groundwater for Sustainable Development*, 25, 101179. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101179>
- Schaepli, B., & Gupta, H. V. (2007). Do Nash values have value? *Hydrological Processes*, 21(15), 2075-2080. <https://doi.org/10.1002/hyp.6825>
- Shao, G., Zhang, D., Guan, Y., Sadat, M. A., & Huang, F. (2021). Application of different separation methods to investigate the baseflow characteristics of a semi-arid sandy area, Northwestern China. *Water*, 12(2), 2, 434. <https://doi.org/10.3390/w12020434>
- Solgi A, Zarei H, & Marofi S. (2024). Using different methods baseflow separation of karst springs based on isotope content (case study: Kahman Karst Spring). *jgs*; 24(72), 15 <https://doi.org/10.52547/jgs.24.72.269> (In Persian)
- Stadnyk, T. A., Gibson, J. J., & Longstaffe, F.J. (2015). Basin-scale assessment of operational base flow separation methods. *J. Hydrol. Eng.*, 20 (5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001089](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001089)
- Stewart, M., Cimino, J., & Ross, M. (2007). Calibration of base flow separation methods with streamflow conductivity. *Ground Water*, 45 (1), 17–27. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2006.00263.x>
- Szilagyi, J. (2004). Heuristic continuous base flow separation. *J. Hydrol. Eng*, 9 (4), 311–318. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2004\)9:4\(311\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:4(311))
- Waterman, B. R., Alcantar, G., Thomas, S. G., & Kirk, M. F. (2022). Spatiotemporal variation in runoff and baseflow in watersheds located across a regional precipitation gradient. *J. Hydrol.: Reg. Stud*, 41, 101071. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101071>
- Xie, H., Hu, H., Xie, D., Xu, B., Chen, Y., Zhou, Z., Zhang, F., & Nie, H. (2024). Spatial and temporal assessment of baseflow based on monthly water balance modeling and baseflow separation. *Water*, 16(10), 1437. <https://doi.org/10.3390/w16101437>
- Zare Bidaki, R., Gharahi, N., & Mahdianfard, M. (2019). Comparison of separation methods for baseflow from direct runoff in Doroud Basin, Lorestan, Iran. *Environment and Water Engineering*, 5(3), pp.200-212. <https://doi.org/10.22034/jewe.2019.187507.1321> (In Persian)
- Zarei, M., Boroughani, M., & Alavinia, S. H. (2020). Estimating base-flow to assess environmental flow in the rivers of arid and semi-arid regions (Case study: Shamkan river, Sabzevar). *Water Resources Engineering*, 13(44), 37-51. <https://doi.org/20.1001.1.20086377.1399.13.44.4.5> (In Persian)
- Zheng, M. (2015). Estimation of baseflow using flow-sediment relationships in the chinese loess plateau. *Catena* 125, 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.02>

## Prioritization of suitable sites for subsurface water harvesting using the data envelopment analysis method (Case study: Kalat and Sarakhs border areas)

Mohammad Rostami Khalaj<sup>1\*</sup>, Hamze Noor<sup>1\*</sup>, Ali Bagheriyan Kalat<sup>1</sup>, Mirmasoud Kheirkhah Zarkesh<sup>2</sup>

1. Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
2. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil conservation and watershed management research institute, Tehran, Iran

\*Corresponding author: [m.rostamikhaj@areeo.ac.ir](mailto:m.rostamikhaj@areeo.ac.ir)

(Received: 03 November 2024

Revised: 18 December 2024

Accepted: 01 March 2025)

### Extended Abstract

**Introduction:** Groundwater resources in border areas have often been overlooked by managers and policymakers due to challenges such as wide geographical spread, and the high costs associated with their study. However, it is crucial to inform decision-makers about the potential of these resources to address water scarcity issues. In the border areas of Razavi Khorasan Province, many farmers and ranchers lack access to sufficient water for agriculture and livestock. Constructing underground dams in these regions can help store significant portions of subsurface water flow in alluvial reservoirs, making it available for use when needed. This study aims to identify and prioritize suitable sites for subsurface water harvesting using underground dams in the border areas of Kalat and Sarakhs in Khorasan Razavi Province.

**Materials and methods:** In this study, Boolean logic was used to eliminate areas unsuitable for underground dam construction. Five criteria—slope, geology, land use, distance from villages, and distance from roads—were employed to locate potential sites. The Fuzzy-AHP method was then used to weight these factors and identify susceptible areas. To prioritize the proposed sites, the Data Envelopment Analysis (DEA) method was applied. DEA, a linear programming-based technique, categorizes suggested points into effective and ineffective categories based on inputs such as dam construction costs, watershed area, precipitation, water demand, and water supply costs. The output considered was the estimated volume of harvested water.

**Results and Discussion:** The results indicate that 58.6% of the study area is unsuitable for underground dam construction, demonstrating the effectiveness of Boolean logic in reducing the workload of site selection. The Fuzzy-AHP analysis revealed that geology and slope are the most influential factors, with weights of 0.395 and 0.268, respectively, while land use and distance from roads have the least impact, with weights of 0.07 and 0.097, respectively. Slopes of 0–3% were found to be most suitable due to minimal water flow velocity, which facilitates the creation of effective reservoirs. Pasture land use was identified as ideal for dam construction. Approximately 6.8% of the area has very high potential, and 11.7% has high potential for underground dam construction. Using DEA, seven priority sites were identified for further investigation.

**Conclusion:** The study concludes that: (1). Farmers and ranchers in the border areas of Khorasan Razavi Province, located on alluvial plains near dry rivers, lack access to sufficient water resources. Constructing underground dams can store significant groundwater flows in alluvial reservoirs, providing a reliable water source for agriculture and livestock. (2). Building underground dams in border areas can create employment opportunities, increase the working population, and enhance regional security. This, in turn, will boost the income and satisfaction of local residents. (3). Eliminating unsuitable areas for dam construction simplifies analysis, reduces fieldwork, and lowers costs. (4). The use of DEA for prioritizing dam construction sites represents a novel approach, offering a new perspective on site selection techniques.

**Keywords:** Potential detection, Fuzzy-AHP method, underground dam, Linear programming, border areas.

Citation: Rostami Khalaj, M., Noor, H., Bagheriyan Kalat, A., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2025). Prioritization of suitable sites for subsurface water harvesting using the data envelopment analysis method (Case study: Kalat and Sarakhs border areas). *Integrated Watershed Management*, 5(3), 87-104. doi=10.22034/iwm.2025.2044609.1183

#### 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>).



## اولویت‌بندی نقاط مناسب برای استحصال آب زیرسطحی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعه موردی: مناطق مرزی کلات و سرخس)

محمد رستمی خلیج<sup>۱\*</sup>، حمزه نور<sup>۱</sup>، علی باقریان کلات<sup>۱</sup>، میر مسعود خیرخواه زرکش<sup>۲</sup>

۱. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

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

\*نویسنده مسئول: [m.rostamihalaj@areco.ac.ir](mailto:m.rostamihalaj@areco.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

### چکیده مسوط

**مقدمه:** آب‌های زیرزمینی در مناطق مرزی به دلیل مشکلاتی از جمله گستردگی منطقه و هزینه زیاد مطالعه آن‌ها، کمتر مورد توجه مدیران و سیاستمداران قرار گرفته است و آگاه‌سازی مدیران، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران کشورها در این زمینه به‌وضوح احساس می‌شود. اغلب کشاورزان و دامداران مناطق مرزی استان خراسان رضوی دسترسی مناسب به منابع آب کافی برای کشاورزی و شرب دام ندارند. در این مناطق، با احداث سد زیرزمینی می‌توان بخش قابل توجهی از جریان آب زیرسطحی را در مخزن آبرفتی موجود در پشت سد زیرزمینی ذخیره نمود تا در مواقع نیاز بهره‌برداری گردد. لذا هدف از این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای برداشت آب زیرزمینی با استفاده از سد زیرزمینی در مناطق مرزی کلات و سرخس در استان خراسان رضوی می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق مناطقی که پتانسیل اولیه برای ساخت سد زیرزمینی را ندارند با استفاده از منطق بولین از محدوده مورد مطالعه حذف شدند. برای مکان‌یابی مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه از پنج معیار شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از روستا و فاصله از جاده استفاده شد. سپس با استفاده از روش Fuzzy-AHP، عوامل مؤثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی وزن‌دهی و مناطق مستعد شناسایی و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، نقاط پیشنهادی برای مطالعات بعدی اولویت‌بندی شدند. روش DEA بر اساس تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی ایجاد شده و مبتنی بر یک سری بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی است. در این روش نقاط پیشنهادی به دو دسته کارا و ناکارا تقسیم می‌شوند. ورودی‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل هزینه ساخت سد، مساحت حوضه و میزان بارندگی، تقاضای آب در منطقه مورد مطالعه و هزینه تأمین آب می‌باشد. خروجی استفاده شده نیز مقدار آب برآورد شده برای برداشت در نظر گرفته شد.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که بیش از نیمی از محدوده مورد مطالعه (۵۸/۶ درصد) پتانسیل احداث سد زیرزمینی را ندارد و حدود ۴۱/۴ درصد را مناطق مستعد تشکیل می‌دهند. در نتیجه، حجم کاری مکان‌یابی را می‌توان با استفاده از منطق بولین به میزان قابل توجهی کاهش داد. نتایج روش Fuzzy-AHP نشان داد زمین‌شناسی و شیب با وزن‌های به ترتیب ۰/۳۹۵ و ۰/۲۶۸ دارای بیشترین اهمیت و کاربری اراضی و فاصله از جاده به ترتیب با وزن ۰/۰۹۷ و ۰/۰۷۰ کمترین تأثیر را در مکان‌یابی سد زیرزمینی دارند. همچنین شیب‌های ۳-۰ درصد در بین سایر کلاس‌های شیب بیشترین امتیاز را کسب کرد. زیرا در این شیب‌ها سرعت آب به حداقل می‌رسد و با توجه به نوع آبرفت‌های منطقه، مخازن مناسبی برای ذخیره آب ایجاد می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده کاربری مرتع دارای بیشترین امتیاز برای احداث سد زیرزمینی بود و حدود ۶/۸ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل خیلی زیاد و ۱۱/۷ درصد دارای پتانسیل زیاد برای مکان‌یابی سد زیرزمینی هستند. پس از تعیین مقادیر ورودی و خروجی، از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اولویت‌بندی ۷ نقطه پیشنهادی استفاده شد.

**نتیجه‌گیری:** دستاوردهای این تحقیق شامل موارد زیر می‌باشد: (۱) اغلب کشاورزان و دامداران در مناطق مرزی استان بر مخروط افکنه‌ها و در مجاورت خشکه‌رودها زندگی می‌کنند و به منابع آب کافی برای کشاورزی و شرب دام دسترسی ندارند. در این مناطق، با احداث سد زیرزمینی می‌توان بخش قابل توجهی از جریان آب زیرسطحی را که بر روی سنگ‌بستر در جریان است و دارای کیفیت مناسب برای کشاورزی و شرب دام است را در مخزن آبرفتی موجود در پشت سد زیرزمینی ذخیره کرد و در مواقع نیاز مورد بهره‌برداری قرار داد. (۲) اجرای پروژه سد زیرزمینی منجر به افزایش درآمد کشاورزان و دامداران برخی از مناطق مرزی استان می‌شود و در واقع به جمعیت فعال و پویای کشاورزان و دامداران این مناطق افزوده می‌گردد. از طرف دیگر، ایجاد اشتغال و افزایش جمعیت بهره‌بردار در مناطق مرزی موجب تأمین امنیت این مناطق می‌شود. لذا با افزایش درآمد ساکنین مناطق مرزی، رضایت‌مندی کشاورزان و دامداران افزایش خواهد یافت. (۳) حذف مناطقی که پتانسیل ساخت سدهای زیرزمینی را ندارند، تأثیر زیادی در ساده‌سازی تحلیل و کاهش میزان کار میدانی دارد و در نتیجه باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. (۴) دلیل انتخاب روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی عدم استفاده از نظر کارشناسان است که این موضوع یک رویکرد جدید از استفاده این تکنیک به حساب می‌آید.

**واژه‌های کلیدی:** پتانسیل‌یابی، روش Fuzzy-AHP، سد زیرزمینی، برنامه‌ریزی خطی، مناطق مرزی

**استناد:** رستمی خلیج، م.، نور، ح.، باقریان کلات، ع.، خیرخواه زرکش، م. م. (۱۴۰۴). اولویت‌بندی نقاط مناسب برای استحصال آب زیرسطحی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعه موردی: مناطق مرزی کلات و سرخس). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۳)، ۸۷-۱۰۴.

### 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 دسترس است.

## مقدمه

آب یکی از منابع موجود در جهان است که با توجه به رشد روزافزون جمعیت، پیشرفت و توسعه صنایع و افزایش نیاز به فرآورده‌های کشاورزی روزبه‌روز با کاهش شدید آن روبه‌رو هستیم (Kumar *et al.*, 2023). امروزه مسئله کمبود آب و درواقع بحران آب دارای چنان اهمیتی است که عمده‌ی تحلیلگران بر این عقیده‌اند که در دهه‌های آینده آب به‌عنوان یک کالای کمیاب و گران‌قیمت به‌جای نفت در کانون رویارویی‌ها و آشتی‌ها قرار خواهد گرفت (Sadeghi, 2017). از طرف دیگر خشکسالی‌های پی‌درپی و تغییرات اقلیمی باعث کاهش این منبع باارزش به‌صورت طبیعی شده است. به گزارش کمیته امور خارجه سنای آمریکا، تا زمانی که افزایش تقاضا برای آب و در مقابل کاهش منابع آب در دسترس وجود داشته باشد، به مسئله آب باید با دید امنیت ملی نگرینته شود و در نتیجه روابط بین کشورهای وابسته به آب بسیار پیچیده خواهد بود. این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک که اغلب مناطق کشور را شامل می‌شود، تأثیر بیشتری داشته است. برای مثال، در مناطق مرزی استان خراسان رضوی به دلیل کمبود منابع آب سطحی و شرایط آب و هوایی این مناطق توجه به آب‌های زیرقشری که از کشور خارج می‌شود، بسیار مهم است. سد زیرزمینی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای استحصال آب‌های زیرقشری در خشک‌رودها باشند. قدمت اولین سد زیرزمینی ساده به قرن ۱۸ برمی‌گردد (Nilsson, 1988). در گذشته مطالعه، مکان‌یابی و احداث سد زیرزمینی بیشتر بر پایه تجارب علمی و بومی مناطق بوده است؛ اما به دلیل اینکه متغیرهای زیادی در انتخاب محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی دخالت دارند باید در این زمینه مطالعاتی صورت گیرد. در این زمینه مطالعات زیادی در سراسر جهان و ایران صورت گرفته است که در ادامه برخی از این مطالعات ارائه شده است.

Peyrowan و همکاران (۲۰۱۸) برای تعیین عرصه‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی در حوزه خشک‌رود استان مرکزی از روش سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS<sup>1</sup>) استفاده کردند. برای انتخاب مناطق مستعد یکسری از معیارها نظیر شیب، گسل، سازندهای نامناسب به‌عنوان معیارهای حذفی در نظر گرفته شد و از منطقه حذف گردید. سپس در مناطق باقیمانده با استفاده از معیارهایی مثل فاصله از قنات، راه‌های دسترسی، محدوده‌های کشاورزی تحت پوشش، کمیت و کیفیت آب و عمق مخزن، سه منطقه برای احداث سد انتخاب و اولویت‌بندی گردید.

Amanian و همکاران (۲۰۱۹) برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی از تلفیق روش‌های سنجش از راه دور و GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP<sup>2</sup>) در دشت کاشان استفاده کردند. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه از داده‌های مدل رقومی ارتفاع، زمین‌شناسی و داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ استفاده کردند. در نهایت هفت منطقه مناسب برای احداث سد زیرزمینی مناسب شناخته شد.

Maleki و همکاران (۲۰۱۹) در حوزه آبخیز خرم‌آباد از روش AHP برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی استفاده کردند و امکان کاربرد روش AHP را برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی ارزیابی نمودند. با استفاده از GIS معیارهای مکانی از جمله محور آبراهه، مخزن، پوشش، اقلیم و آب تهیه شد. سپس ارزیابی نقطه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها برای ساخت سد زیرزمینی با استفاده از AHP انجام شد. نتایج نشان داد که تحلیل سلسله مراتبی گسترده روشی است که اهمیت معیارهای مؤثر مکان‌یابی را نشان می‌دهد و بر معیارهای کیفی تأکید دارد.

Rosatmi Khalaj و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای ۴۱ مقاله داخلی و خارجی در زمینه مکان‌یابی سد زیرزمینی را مورد بررسی و پارامترهای تأثیرگذار بر مکان‌یابی سدهای زیرزمینی را استخراج و برخی نکات در استفاده

<sup>2</sup> Analytical Hierarchy Process

<sup>1</sup> Decision Support System

معیارهای تأثیرگذار روی مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از روش AHP امتیازدهی و هشت نقطه مناسب تعیین گردید و در مرحله آخر با استفاده از روش TOPSIS<sup>3</sup> و EDAS<sup>4</sup> مکان‌های تعیین‌شده در مرحله قبل را اولویت‌بندی کردند. نقشه نهایی به‌دست‌آمده چهار نقطه را مناسب برای احداث سد زیرزمینی نشان داد.

Talebi و همکاران (۲۰۱۹) معادله بیلان آبی حوزه درونگر را با استفاده از مدل SWAT<sup>5</sup> شبیه‌سازی و جریان زیرقشری و مسیر حرکت آن را تعیین نمودند. سپس ۱۱ لایه مؤثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی را با استفاده از روش ANP<sup>6</sup> امتیازدهی و مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی را تعیین کردند. نتایج مدل ANP نشان داد برای محاسبه جریان زیرسطحی استفاده از مدل SWAT ضروری است و بیشترین وزن مربوط به لایه‌های حجم مخزن و حجم رواناب است. همچنین نتایج نشان داد آبراه‌های رتبه ۳ و ۴ با شیب کمتر از ۱۵ درصد مکان‌های مناسبی برای احداث سد زیرزمینی هستند.

Webber و همکاران (۲۰۱۹) از آنالیز چندمتغیره در برزیل برای مکان‌یابی سد زیرزمینی استفاده کردند. در این مطالعه متغیرهای توپوگرافی، هیدروگرافی، خاکشناسی و زمین‌شناسی توسط GIS تلفیق گردید و با حذف مناطق نامناسب، لایه مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی تعیین شد. به این صورت که هر لایه به سه بخش، تناسب بالا، تناسب متوسط و تناسب پایین تقسیم‌بندی گردید. نتایج نشان داد این روش کارایی قابل‌قبولی برای مکان‌یابی سد زیرزمینی دارد.

با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت موضوع بهره‌برداری از منابع آب زیرقشری در مناطق مرزی خراسان رضوی، این مطالعه با هدف پهنه‌بندی مناطق مستعد استحصال آب زیرقشری و اولویت‌بندی نقاط پیشنهادی با استفاده

از این پارامترها را در شرایط و مناطق مختلف ارائه نمودند. نتایج نشان داد متغیرهای مختلفی در مکان‌یابی سد زیرزمینی تأثیرگذار است و باید با توجه به شرایط منطقه از آنها استفاده کرد.

Tavakoli و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز بیرجند دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy-AHP<sup>1</sup>) و روش تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy-ANP<sup>2</sup>) را برای مکان‌یابی سد زیرزمینی با هم مقایسه کردند. لایه‌های استفاده شده عبارت‌اند از فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی، شیب، فاصله از دشت سیلابی، فاصله از روستا، فاصله از چاه و چشمه و قنات، کاربری اراضی، فاصله از گسل و فاصله از جاده. نتایج نشان داد که مکان‌های مناسب برای ساخت سدهای زیرزمینی در مجاورت آبراهه‌های کم شیب قرار دارد و روش FANP نسبت به روش FAHP دقت بیشتری برای مکان‌یابی سد زیرزمینی دارد.

Fathi و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از GIS و سنجش از دور و همچنین بکارگیری روش AHP در منطقه‌ای از حوزه تهران اقدام به مکان‌یابی محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی کردند. در این مطالعه از لایه‌های بارندگی، شیب، زمین‌شناسی، مناطق تغذیه، تراز آب زیرزمینی و فاصله از شبکه آبراه‌های استفاده شده است. نقشه نهایی به‌دست‌آمده نشان داد ۴۶ درصد دشت تهران-کرج دارای پتانسیل متوسط برای ساخت سد زیرزمینی است و نقشه به‌دست‌آمده دارای اطلاعات مفیدی برای تصمیم‌گیران و مدیران منطقه در مدیریت منابع آب زیرزمینی است.

Kharazi و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی را در دشت سمنان تعیین کردند. در مرحله اول مکان‌های دارای زهکشی و ذخیره منابع آب زیرزمینی مناسب تعیین گردید. سپس تعدادی از

<sup>4</sup> Evaluation Based on Distance from Average Solution

<sup>5</sup> Soil and Water Assessment Tools

<sup>6</sup> Analytical Network Process

<sup>1</sup> Fuzzy Analytical Hierarchy Process

<sup>2</sup> Fuzzy Analytical Network Process

<sup>3</sup> Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

### روش تحقیق

با بررسی منابع، معیارها و پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی و اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی مشخص گردید. سپس نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی پایه این پارامترها تهیه و با انجام عملیات صحرایی برخی از نواقص موجود در داده‌ها برطرف و داده‌ها به‌روز گردید. مناطقی که پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی را نداشتند، با استفاده از منطق بولین از محدوده مطالعاتی حذف شد. این محدوده‌ها بر اساس نتایج مطالعات قبلی و نظرات کارشناسان خبره شناسایی گردید. به‌طور کلی معیارهای حذفی در این فاز شامل ۱- حریم آبراهه‌ها با بافر ۳۰۰ متری (Rezaei Moghaddam et al., 2016)، ۲- آبراهه‌هایی که در مناطق دشتی قرار دارند، ۳- لایه مناطق مرتفع مثل کوهستان‌ها و تپه‌ها با شیب بالای ۲۵ درصد، ۴- لایه محدوده گسل‌ها و خطواره‌ها با بافر ۵۰۰ متر (Rezaei Moghaddam et al., 2016; Esmali Ouri et al., 2019)، ۵- لایه کاربری‌های نامناسب شامل اراضی صخره‌ای، اراضی شور و مخازن آب موجود در منطقه، ۶- لایه حریم چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوت با بافر ۱۰۰ متر (Esmali Ouri et al., 2016; Chezgi et al., 2018; Peyrowan et al., 2018; Esmali et al., 2019)، ۷- لایه رودخانه‌های دائمی دارای دبی پایه، سازندهای تخریب‌کننده گچی و نمکی و نیز حوضه‌های بالادست سدهای منطقه می‌باشند. پس از تهیه لایه‌های موردنیاز، این لایه‌ها با استفاده از منطق بولین تلفیق گردید. در روش بولین مناطقی که پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی را ندارند امتیاز صفر و مناطق دارای پتانسیل اولیه امتیاز یک اختصاص می‌یابد. پس از حذف مناطق نامناسب اولیه برای احداث سد زیرزمینی مناطق دارای پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش Fuzzy-AHP وزن‌دهی شد. برای این منظور از معیارهای زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده و فاصله از روستا استفاده

از روش تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۱</sup> (DEA) انجام شد. روش تحلیل پوششی داده‌ها پیش‌تر در زمینه ارزیابی کارایی سیستم‌ها استفاده شده است. از آنجایی که سد زیرزمینی مانند یک سیستم عمل می‌کند در این مطالعه با رویکردی جدید این روش برای اولویت‌بندی نقاط پیشنهادی احداث سد زیرزمینی برای مطالعات تکمیلی استفاده می‌شود.

### مواد و روش‌ها

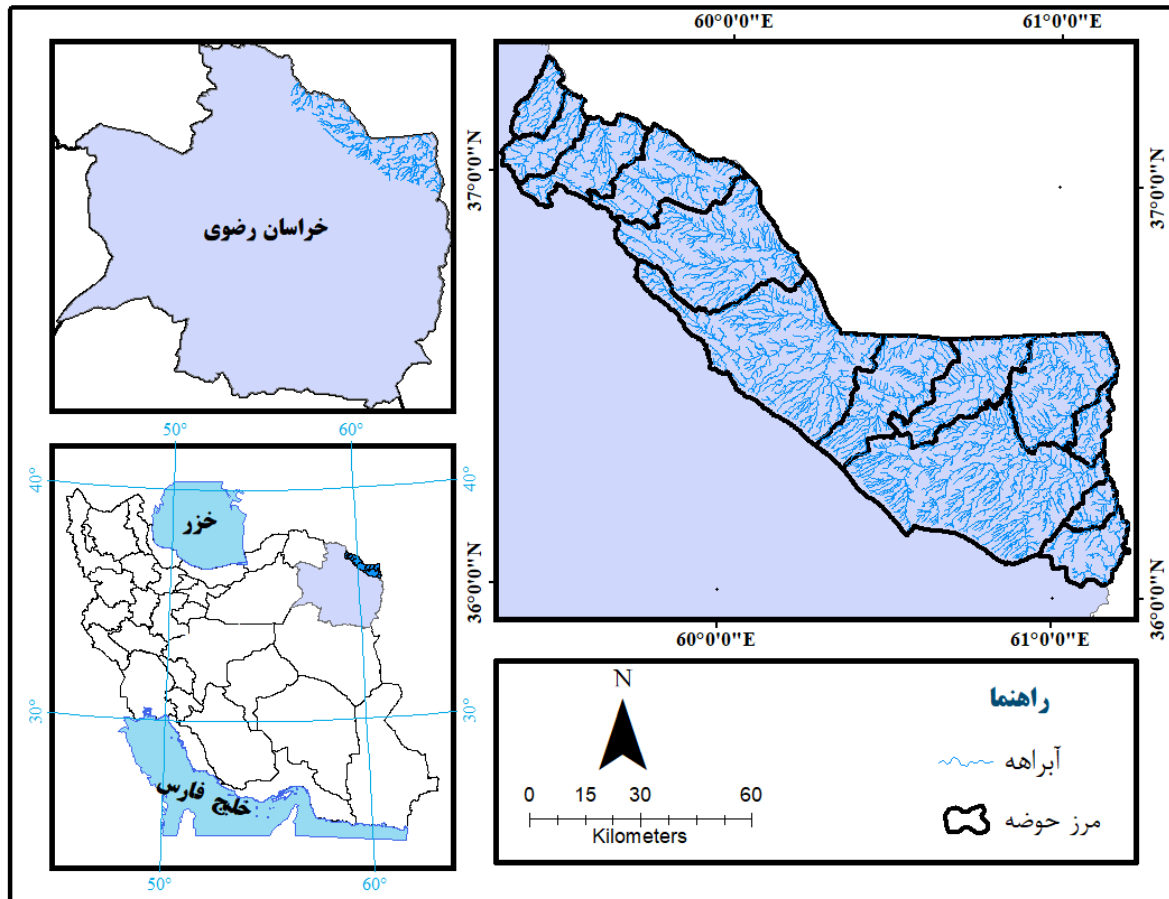
#### منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با وسعتی حدود ۱۱۷۷۶۹ کیلومترمربع در شمال شرق کشور قرار گرفته است و از شمال و شمال شرق به جمهوری ترکمنستان با مرز مشترک حدود ۵۳۱ کیلومتر، از شرق به افغانستان با مرز مشترک حدود ۳۰۲ کیلومتر، از غرب به استان سمنان و از جنوب به استان خراسان جنوبی محدود است. شهرستان سرخس با مساحتی حدود ۵۳۹۶/۸ کیلومترمربع در شرق استان خراسان رضوی قرار دارد. میانگین سالانه بارندگی در شهرستان سرخس ۱۸۷/۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد است و بر اساس روش دومارتین جزء مناطق خشک بیابانی معتدل است. شهرستان کلات در شمال شرق استان قرار دارد و مساحتی حدود ۳۵۰۲/۸ کیلومترمربع دارد. این شهرستان بر اساس شاخص دومارتین دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل است و میانگین سالانه بارندگی در شهرستان کلات ۲۷۶/۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد است (Agriculture Organization of Khorasan, Razavi, 2019). برای تعیین مناطق مرزی سرخس و کلات، از مرز حوزه‌های آبخیز منطقه استفاده شد. برای این منظور حوزه‌های آبخیز مرزی استان که در این مناطق قرار دارند و آب آن‌ها به خارج از کشور می‌ریزد به‌عنوان محدوده مطالعاتی تعیین می‌شود (شکل ۱).

<sup>1</sup> Data Envelopment Analysis

علی‌رغم محبوبیت زیاد روش AHP، به دلیل اینکه برای گزینه‌ها ارزش نسبی در نظر گرفته می‌شود و ممکن است اعمال سلیقه در آن تاثیر داشته باشد انتقاداتی بر آن وارد است (Esavi et al., 2012).

شد. با این روش مناطقی که پتانسیل بالایی برای احداث سد زیرزمینی دارند مشخص می‌شود. البته باید توجه داشت که پارامترهای دیگری مثل حجم مخزن، خصوصیات حوزه بالادست و غیره وجود دارند که در مرحله بعدی برای اولویت‌بندی استفاده می‌شوند.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مناطق مرزی کلات و سرخس در استان خراسان رضوی و ایران

Figure 1- Location of border areas of Kalat and Sarkhas Watershed in Khorasan Razavi Province, Iran

روش Fuzzy-AHP نوع تعمیم‌یافته روش AHP است. توابع عضویت کلاسیک معمولاً به صورت  $(x_A(x))$  بیان می‌شوند که مجموعه دو عضوی صفر و یک بوده است ولی برد توابع فازی  $(\mu_A(x))$  است که نشان‌دهنده بازه صفر و یک است. در این پژوهش برای مقایسه زوجی معیارها از تابع فازی دوزنقه‌ای استفاده شد (جدول ۱) و درنهایت از روش میانگین‌گیری هندسی برای فازی‌زدایی استفاده گردید. زیرا این روش به‌سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است و جواب یگانه‌ای برای ماتریس مقایسه زوجی تعیین می‌کند.

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطیفی‌زاده ارائه شد که برای لحاظ کردن عدم اطمینان و ابهام در حل مسائل مختلف استفاده می‌شود (Rostamzadeh & Sofian, 2011). روش فازی که در مقابل روش کلاسیک مطرح شد، ابزاری قوی برای حل مسائل پیچیده مربوط به مشکلات وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری به شمار می‌رود. در عملیات فازی‌سازی، ورودی‌ها با استفاده از توابع عضویت یک درجه مناسب می‌گیرند. معمولاً این توابع میزان فازی بودن یک مجموعه فازی را نشان می‌دهند.

## جدول ۱- حالات مختلف برای مقایسه زوجی و مقادیر عددی آن

Table 1- Different situations for pairwise comparison and its numerical values

امتیاز فازی	مقدار عددی	اهمیت (قضاوت شفاهی)	اهمیت یکسان
(1, 1, 1)	1	Equal importance	اهمیت یکسان
( $\frac{3}{2}, \frac{5}{2}, 3$ )	2	Equal to moderate importance	اهمیت یکسان تا کمی مهم‌تر
( $\frac{5}{2}, \frac{7}{2}, 4$ )	3	Moderate importance	کمی مهم‌تر
( $\frac{7}{2}, \frac{9}{2}, 5$ )	4	Moderate to strong importance	اهمیت کمی مهم‌تر تا زیاد
( $\frac{9}{2}, \frac{11}{2}, 6$ )	5	Strong importance	اهمیت زیاد
( $\frac{11}{2}, \frac{13}{2}, 7$ )	6	Strong to very strong importance	اهمیت زیاد تا بسیار زیاد
( $\frac{13}{2}, \frac{15}{2}, 8$ )	7	Very strong importance	اهمیت بسیار زیاد
( $\frac{15}{2}, \frac{17}{2}, 9$ )	8	Very to extremely strong importance	اهمیت بسیار زیاد تا کاملاً مهم‌تر
( $\frac{17}{2}, 9, 9$ )	9	Extreme importance	اهمیت کاملاً مهم‌تر

وزن نهایی مربوطه ضرب و سپس لایه‌ها باهم جمع می‌شوند و نقشه نهایی مربوط به پتانسیل احداث سد زیرزمینی تهیه می‌شود.

پس از تعیین مناطق مستعد و دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش Fuzzy-AHP در این مرحله نقاط مناسب برای احداث سد زیرزمینی تعیین می‌گردد. محل تنگ‌شدگی آبراهه‌ها درجه ۳ و ۴ و خروجی آبراهه‌های فرعی نقاط مناسب برای محورهای پیشنهادی هستند که با بازدید میدانی از محدوده‌های مناسب محل‌های تنگ‌شدگی در آبراهه‌ها مشخص می‌شود. تعداد ۷ نقطه برای انجام مطالعات اولیه احداث سد زیرزمینی تعیین گردید. از آنجایی که هزینه مطالعات اولیه برای احداث سد زیرزمینی زیاد است و اگر بخواهیم از بین هفت گزینه پیشنهادی کارآمدترین و بهترین گزینه را انتخاب کنیم باید این نقاط اولویت‌بندی شوند. برای اولویت‌بندی این نقاط از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده شد.

معیارها و زیرمعیارها برای مقایسه زوجی توسط کارشناسان در یک پرسشنامه گردآمده و سپس برای هر منطقه ۵۰ پرسشنامه و در مجموع ۱۰۰ پرسشنامه (رابطه کوکران)، توسط متخصصین اداره‌های منابع طبیعی و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و برخی خبرگان محلی امتیازدهی گردید. سپس با استفاده از روش فازی‌سازی ذکرشده، معیارها و زیرمعیارها فازی شدند. سپس وزن فازی معیارها و زیرمعیارهای تعیین‌شده به لایه‌های تک‌تک معیارها در نرم‌افزار ArcGIS وارد شدند. از روش ترکیب خطی وزن‌دار ( $WLC^1$ ) برای تهیه نقشه نهایی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی استفاده شد. روش ترکیب خطی وزن‌دار یکی از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی چندمعیاره مکانی است و میزان مطلوبیت آن بر اساس اهمیت نسبی معیارها در فرآیند مکان‌یابی تعیین می‌شود و ارزش‌های بالاتر دارای مطلوبیت بالاتری برای انتخاب مکان موردنظر است (Rezaei & Jamshidi, 2017). در این روش هر فاکتور فازی شده در

<sup>1</sup> Weighted Linear Combination

خروجی‌ها با  $u_1, u_2, \dots, u_s$  و وزن تخصیص داده‌شده به ورودی‌ها با  $v_1, v_2, \dots, v_m$  نشان داده شود، آنگاه مدل ریاضی آن به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_0 &= \sum_{r=1}^s y_{r0} u_r \\ \text{s. t. } & \sum_{i=1}^m x_{i0} v_i = 1, \\ & \sum_{r=1}^s y_{ri} u_r - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_{ij} \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (1)$$

در این مدل برای هر واحد یک محدودیت در نظر گرفته می‌شود و تعداد محدودیت‌ها بیشتر از تعداد متغیرها است. از آنجایی که حجم عملیات در حل معادله یک بخشی بیشتر وابسته به تعداد محدودیت‌ها است تا متغیرها، از این رو برای حل مسئله از مدل ثانویه که به مدل پوششی معروف است استفاده می‌شود.

مدل پوششی به صورتی است که اگر متغیر متناظر با محدودیت  $\sum_{i=1}^m x_{i0} v_i = 1$  را در مسئله ثانویه با  $\theta$  و متغیرهای متناظر با محدودیت‌های  $\sum_{r=1}^s y_{rj} v_r - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i \leq 0$  با  $\lambda_j$  و متغیرهای متناظر  $V_i \geq \varepsilon$  به ترتیب  $S_i^-, S_i^+$  بیان گردد، مدل پوششی CCR آن به صورت رابطه (۲) خواهد بود:

$$\begin{aligned} \min Y_0 &= \theta - \varepsilon \left( \sum_{r=1}^s S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_r^- \right) \\ \text{s. t. } & \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - S_r^+ = Y_{r0} \\ & \sum_{j=1}^n X_{rj} \lambda_j + S_r^- = \theta X_{r0} \\ & \lambda_j, S_i^+, S_i^- \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (i = 1, 2, \dots, s) \end{aligned} \quad (2)$$

در این رابطه مقدار  $\theta$  آزاد در علامت است و کارایی نسبی را نشان می‌دهد و  $\lambda_j$  وزن واحد تصمیم‌گیری  $j$  ام را نشان می‌دهد. روش تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس مقادیر ورودی و خروجی نقاط را به کارا و ناکارا تقسیم می‌کند که مقدار کارایی بین صفر و یک است. نقاط ناکارا امتیازی کمتر از یک می‌گیرند؛ بنابراین می‌توان آن‌ها را رتبه‌بندی کرد، اما نقاط کارا همه با

روش DEA بر اساس تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی ایجاد شده و مبتنی بر یک سری بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی است که توسط Charnes و همکاران (۱۹۷۸) ارائه شده است. در این روش، منحنی مرزهای کارا از یکسری نقاط که به وسیله برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شود، ایجاد می‌گردد که مطابق تئوری اقتصادی مربوطه، به تعیین کارایی به روش ناپارامتری می‌پردازد. از این نظر پیش‌فرض‌ها و محدودیت‌های کمتری دارد. نقاط پیشنهادی در این روش به دو دسته کارا و ناکارا تقسیم می‌شود که نقاط کارا در اولویت اول و نقاط ناکارا در اولویت آخر قرار می‌گیرند. به منظور تحلیل کارایی واحدهای تصمیم‌گیری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها باید ورودی‌ها و خروجی‌ها (نهادها و ستاده‌ها) را مدنظر قرارداد. ورودی‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل هزینه احداث سد، سطح حوضه بالادست سد و میزان بارش، نیاز به آب در منطقه و هزینه تأمین آب در منطقه می‌باشد. خروجی مورد استفاده نیز میزان آب برآورد شده قابل استحصال در نظر گرفته شد.

روش تحلیل پوششی داده‌ها را می‌توان به دو صورت ورودی‌گرا (نهادمحور) و خروجی‌گرا (ستاده‌محور) به کاربرد. در مدل ورودی‌گرا هدف رسانیدن یک واحد ناکارا به مرز کارایی از طریق ثابت نگهداشتن ورودی و افزایش خروجی است و در مقابل مدل خروجی‌گرا معطوف به حداقل‌سازی ورودی‌ها با فرض ثابت ماندن خروجی‌ها می‌باشد. از آنجایی که در مبحث سد زیرزمینی مقدار آب قابل استحصال اهمیت زیادی دارد لذا از مدل ورودی‌گرا استفاده و نقاط پیشنهادی اولویت‌بندی گردید.

در مدل ارائه شده توسط Charnes و همکاران (۱۹۷۸) که به اختصار  $(CCR^1)$  نامیده می‌شود، فرض می‌شود  $n$  واحد تصمیم‌گیری  $(DMU^2)$  موجود است و ورودی‌ها  $X_1, X_2, \dots, X_m$  و خروجی‌ها  $Y_1, Y_2, \dots, Y_s$  می‌باشند. در صورتی که وزن تخصیص داده‌شده به

<sup>2</sup> Decision making units

<sup>1</sup> Charnes, Cooper, and Rhodes

می‌شود (Forzieri et al., 2008). می‌توان حجم تقریبی خاک‌برداری را از رابطه (۷) محاسبه کرد:

$$V_h = ((2.m.p.L)p.\frac{1}{3}) + V = \frac{2.m.p^2.L}{3} + V \quad (7)$$

$$= (p^2.L) + V$$

در این رابطه  $V_h$ : حجم خاک‌برداری،  $m$ : شیب پایداری خاک در هنگام خاک‌برداری است که در اینجا ۱/۵ در نظر گرفته شده است. اگر در رابطه فوق حجم سد ( $V$ ) در نظر گرفته نشود، حجم خاک‌ریزی تعیین می‌شود. هزینه‌های موردنیاز برای خاک‌برداری، خاک‌ریزی و احداث سد از جداول فهرست‌بهای سازمان برنامه‌بودجه مربوط به سال ۱۴۰۰ به دست آمد و ضرایب منطقه‌ای، ضریب بالاسری، ضریب تأسیس و برچیدن کارگاه و ارزش‌افزوده نیز در آن محاسبه گردید.

با بررسی‌های انجام‌شده از اداره عشایری استان خراسان رضوی و محله‌های عشایری موجود در منطقه و همچنین تعداد روستاهای اطراف محدوده سد می‌توان میزان نیاز آب در منطقه را برآورد کرد. برای این منظور با بازدید صحرایی و مراجعه به اداره عشایری تعداد دام‌های موجود در منطقه مشخص گردید و با توجه به میانگین نیاز آب برای دام در روز مقدار آب موردنیاز برای شرب دام محاسبه گردید. علاوه بر این با مصاحبه با دهیاری‌ها و دامداران روستاهای اطراف، میزان دام روستاها مشخص و به نیاز دام عشایر اضافه گردید.

برای تأمین آب شرب برای دام‌های موجود در منطقه معمولاً از تانکر استفاده می‌شود. هزینه تأمین آب با توجه به فاصله از محل تأمین آب متفاوت است. از این رو با مصاحبه با افراد محلی هزینه هر تانکر آب محاسبه و قیمت واحد هر مترمکعب آب محاسبه شد.

میزان آب قابل استحصال را می‌توان با برآورد حجم مخزن محاسبه کرد. برای برآورد حجم مخزن فرضیات زیر در نظر گرفته شده است: ۱- حجم ذخیره پتانسیل ( $V_s$ ) با محدوده آبرفت بالادست سد ( $A_{all}$ ) که آب در آن ذخیره می‌شود بستگی دارد، ۲- متوسط عرض مقطع آبرفت بالادست ( $L_m$ ) برابر نسبت مساحت اشغال‌شده در بالادست ( $A_{all}$ ) به طول آبراهه در این

امتیاز یک نمایش داده می‌شوند؛ بنابراین نمی‌توان آن‌ها را اولویت‌بندی کرد. برای اولویت‌بندی نقاط کارا از مدل Andersen و Petersen (۱۹۹۳) استفاده شد. این مدل به مدل فوق کارایی (ابر کارایی) معروف است و با استفاده از آن می‌توان کاراترین نقطه را تعیین کرد. در این روش امتیاز واحدهای کارا می‌تواند بیشتر از یک باشد که به این ترتیب نقاط کارا نیز مانند نقاط ناکارا قابل رتبه‌بندی خواهند بود. مدل اندرسون-پیترسون (AP) مطابق رابطه (۳) است:

$$\min Y_0 = \theta - \varepsilon \left( \sum_{r=1}^s S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^- \right)$$

$$s. t. \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ = Y_{rk} \quad (3)$$

$$\lambda_j, S_i^+, S_i^-$$

$$\geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (i = 1, 2, \dots, s)$$

$$(r = 1, 2, \dots, s)$$

در این رابطه مقدار  $\theta$  آزاد در علامت است. برای اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌ها از نرم‌افزار متلب و Data Envelopment Analysis Toolbox استفاده شد (Álvarez et al., 2020).

برآورد هزینه احداث سد زیرزمینی با توجه به حجم خاک‌برداری، خاک‌ریزی و هزینه احداث سد محاسبه می‌شود. برای این منظور فرضیات زیر در نظر گرفته شده است: ۱- شکل سد زیرزمینی به صورت منشوری با مقطع عرضی مثلثی شکل است، ۲- جنس سازه از نوع رسی است. برای محاسبه هزینه احداث سد محاسبه حجم ناخالص سازه لازم است. حجم ناخالص سازه بر اساس روابط (۴، ۵ و ۶) محاسبه می‌شود (Forzieri et al., 2008):

(۴)

$$V = \frac{L.p.s}{2}$$

$$s = \frac{L}{40} \quad (5)$$

$$V = \frac{L^2.p}{80} \quad (6)$$

در این رابطه  $V$ : حجم ناخالص سازه،  $L$ : عرض دره یا فاصله تکیه‌گاه‌ها،  $p$ : عمق آبرفت در محل،  $s$ : ضخامت کف سد است که در اینجا به اندازه  $L/40$  در نظر گرفته

می‌کنند. در محدوده مورد مطالعه ۵ سد وجود دارد که نقشه موقعیت آن‌ها از شرکت آب منطقه‌ای استان تهیه و حوزه بالادست آن‌ها از منطقه مورد مطالعه حذف شد. سپس لایه‌های مختلفی که قابلیت احداث سد زیرزمینی را ندارند باهم تلفیق شد و نقشه مناطق حذفی تهیه گردید (شکل ۲). این مناطق در نقشه نهایی وزن صفر را به خود اختصاص دادند و سایر مناطق با استفاده از روش Fuzzy-AHP وزن‌دهی گردید. در شکل ۳ موقعیت مناطق حذفی از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. با توجه به این شکل بیش از نیمی از منطقه مورد مطالعه (۵۸/۶ درصد) را مناطق فاقد پتانسیل تشکیل داده است و حدود ۴۱/۴ درصد جزء مناطق دارای پتانسیل هستند. نتایج نشان می‌دهد به‌سادگی و با استفاده از منطق بولین می‌توان حجم کار مکان‌یابی را به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد.

مناطق که دارای پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی هستند با استفاده از روش Fuzzy-AHP وزن‌دهی گردید. در بین معیارهای بررسی شده زمین‌شناسی و شیب با وزن‌های ۰/۳۹۵ و ۰/۲۶۸ بیشترین اهمیت را در بین پارامترهای دیگر دارند. سازندهای زمین‌شناسی با توجه به نوع و کیفیت سازندها و همچنین آبرفت‌های حاصل از آن‌ها می‌توانند نقش مؤثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی ایفا کنند که این نتایج با نتایج (Archwichai et al., 2005; Amanian et al., 2019) مطابقت دارد. شیب زمین نقش به‌سزایی در میزان رواناب و نفوذ آب در خاک دارد به‌طوری‌که در شیب‌های کم، تقریباً حرکت رواناب مختل شده و باعث افزایش نگهداشت سطحی آب می‌شود. از طرف دیگر بالا بودن شیب باعث افزایش فرسایش و کاهش شدید عمق خاک در مناطق با شیب بالا می‌شود که عامل نامطلوبی در مکان‌یابی سد زیرزمینی می‌باشد. کاربری اراضی و فاصله از جاده در بین سایر پارامترها با وزن‌های ۰/۰۷ و ۰/۰۹۷ کمترین تأثیر را در مکان‌یابی سد زیرزمینی داشتند. در این مطالعه کاربری اراضی از این جهت مورد ارزیابی قرار گرفت که نقش مهمی در داشتن معارض

محدوده (Loured) است، ۳- حجم ذخیره پتانسیل به‌صورت حجم منشور با مقطع مثلثی محاسبه می‌شود (Forzieri et al., 2008). بنا بر فرضیات فوق محاسبه حجم مخزن را می‌توان از رابطه (۸) محاسبه کرد:

$$V_s = \frac{Loured \cdot p_m \cdot L_m}{2} = \frac{Loured \cdot p_m \cdot \left(\frac{A_{all}}{Loured}\right)}{2} = \frac{p_m \cdot A_{all}}{2} \quad (8)$$

با توجه به اینکه نوع خاک در تمامی نقاط از نوع شنی قله‌سنگی است، میزان تخلخل (n) در تمامی نقاط ۳۰ درصد در نظر گرفته شد؛ بنابراین میزان آب قابل استحصال از رابطه (۹) محاسبه شد:

$$V_s(eff) = V_s \cdot n \quad (9)$$

## نتایج و بحث

در ابتدا، مناطق مرتفع مثل کوهستان‌ها و تپه‌ها از مناطقی بودند که به دلیل شیب زیاد و عمق کم خاک به عنوان فاقد پتانسیل اولیه به منظور احداث سد زیرزمینی از محدوده مورد مطالعه حذف گردید. محدوده گسل‌ها یکی دیگر از محدوده‌های حذفی است که با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه محدوده گسل‌ها تعیین گردید. سپس بافر ۱۰۰ متر اطراف آن جزء مناطق حذفی قرار گرفت. امکان شکستگی در بدنه سد زیرزمینی و تخلیه مخزن از دلایل اصلی حذف این مناطق بوده است که با نتایج (Abdekhodayi et al., 2017) مطابقت دارد. برخی از کاربری‌ها مانند اراضی با کاربری مناطق مسکونی، مناطق صخره‌ای، اراضی شور، مخازن آب موجود در منطقه و اراضی حاشیه دریاچه نمک کاربری مناسبی برای احداث سد زیرزمینی ندارند. در نتیجه در ابتدای کار از منطقه حذف می‌شوند. سازندهای زمین‌شناسی یکی از مؤثرترین پارامترها در تعیین مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی هستند. سازندهای گچی و نمکی سازندهایی هستند که در گام نخست از منطقه مورد مطالعه حذف گردید. سدهای احداث شده و در دست احداث و حوزه‌های بالادست آن‌ها در منطقه مورد مطالعه جزء مناطق حذفی می‌باشند، زیرا آب موردنیاز برای آبیگری سدها را فراهم

## رستمی خلیج و همکاران

در مکان‌های انتخابی دارد. این پارامتر کمترین امتیاز را طبق نظر کارشناسان و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دریافت کرده است که با نظر Kheyrkhah و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. فاصله از جاده که امکان دسترسی به محل احداث سد را چه در زمان احداث سد و چه در زمان بعد از احداث سد برای انجام بررسی‌ها و تعمیر و نگهداری فراهم می‌کند طبق نظر خبرگان و کارشناسان وزن کمی را به خود اختصاص داده که با نتایج Abdekhodayi و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد.

شیب‌های ۳-۰ درصد در بین سایر کلاس‌های شیب بیشترین امتیاز را کسب کرد. زیرا در این شیب‌ها سرعت آب به حداقل رسیده است و با توجه به نوع آبرفت‌های منطقه می‌تواند مخازن مناسبی را ایجاد کند (Talebi & Zahedi, 2015; Kordi et al., 2016; Maleki et al., 2019; Amanian et al., 2019).

کاربری‌هایی که در این فاز امتیازدهی گردیدند شامل کشاورزی آبی، باغات، اراضی فاقد پوشش، اراضی دیم، جنگل، مرتع و بیشه‌زارها می‌شوند و سایر کاربری‌ها در فاز قبلی امتیاز صفر به آن‌ها تعلق گرفته است. سپس با استفاده از روش Fuzzy-AHP وزن‌های زیرمعیارهای کاربری اراضی تعیین گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کاربری مرتع بیشترین امتیاز را کسب کرده است که نشان می‌دهد طبق نظر کارشناسان این کاربری، مناطق مناسبی برای احداث سد زیرزمینی هستند که با نتایج Kordi و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

پس از تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها برای محاسبه وزن نهایی از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شد. وزن هر معیار در وزن‌های زیرمعیارها ضرب و نهایتاً وزن‌ها باهم جمع گردید و وزن‌های نهایی به دست آمد. سپس وزن‌ها با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی<sup>۱</sup> (De Smith et al., 2007) به ۵ طبقه فاقد پتانسیل، پتانسیل کم، پتانسیل متوسط،

پتانسیل زیاد و پتانسیل خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید. نقشه مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به این شکل حدود ۶/۸ درصد از منطقه دارای پتانسیل خیلی زیاد و ۱۱/۷ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل زیاد است که نشان‌دهنده مناطق مناسب برای مکان‌یابی سد زیرزمینی هستند و در این مناطق با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و بازدید صحرایی اقدام به تعیین نقاط مناسب شد.

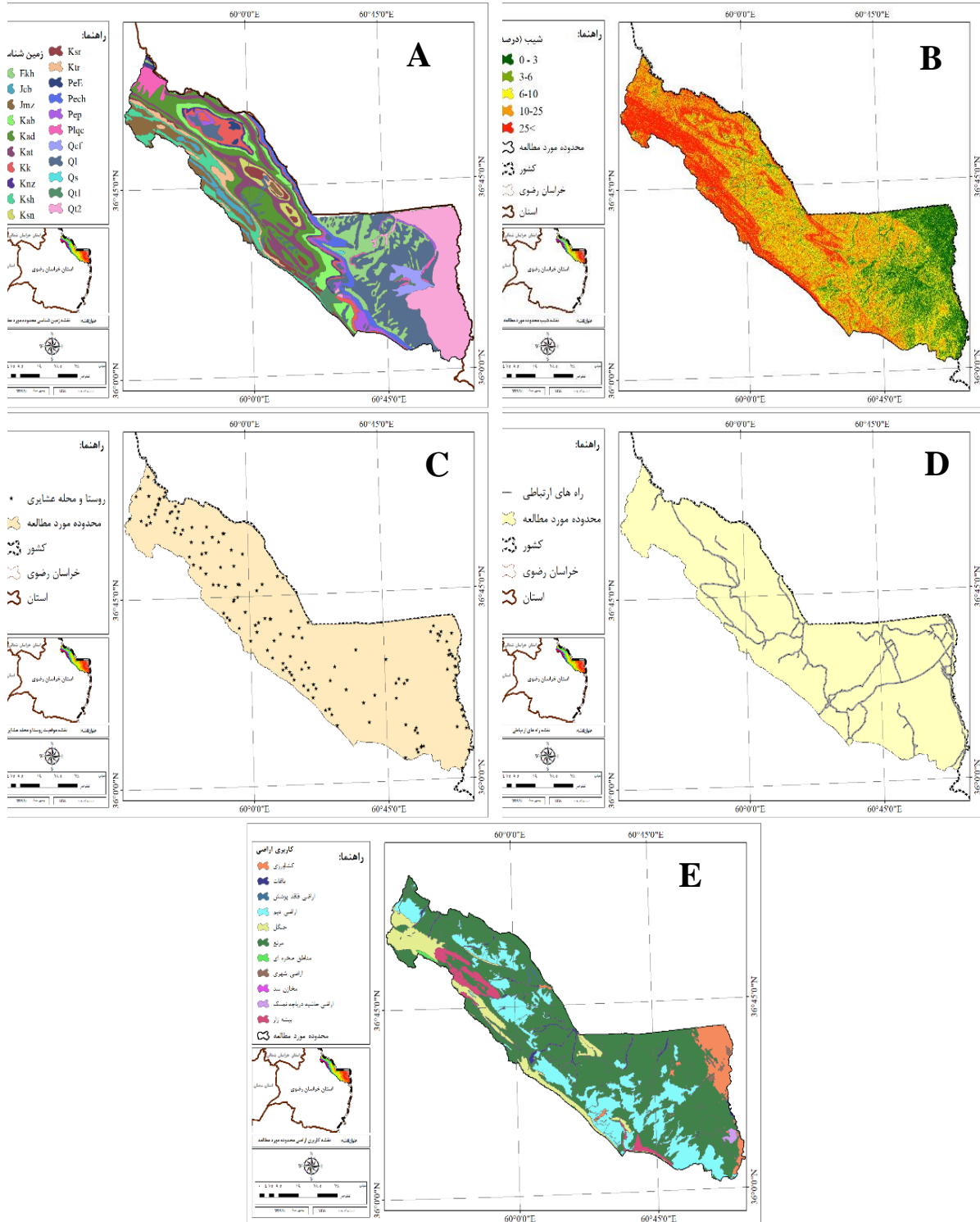
برای تعیین نقاط احداث سد زیرزمینی باید آبراهه دارای تنگ‌شدگی باشد تا دیواره‌های سد به آن ختم شود و طول دیواره سد کم شود تا هم از صرف هزینه زیاد جلوگیری گردد و هم دیواره سد مشکل آبگذری نداشته باشد. برای این منظور آبراهه‌هایی که در مناطق دارای پتانسیل قرار دارند مورد بررسی قرار گرفتند و نقاطی که آبراهه تنگ‌شدگی داشت تعیین گردید درنهایت ۷ نقطه دارای پتانسیل احداث سد تعیین گردید. شکل ۵ موقعیت نقاط احداث سد زیرزمینی را نشان می‌دهد.

پس از تعیین مقادیر ورودی و خروجی برای اولویت‌بندی نقاط پیشنهادی (جدول ۲) از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از رتبه‌بندی نقاط پیشنهادی برای انجام مطالعات تکمیلی در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج، نقطه Sarakhs2 از لحاظ نیاز آبی دچار کمبود است. بهره‌برداران این نقطه یک روستا است که در مجاورت این نقطه قرار دارد. از لحاظ خصوصیات فیزیکی، این نقطه دارای شرایط مناسبی است. محل احداث سد زیرزمینی در این نقطه دارای عرض مقطع ۲۵ متر است و ضخامت آبرفت حدود ۸ متر به دست آمد. شیب طولی آبراهه در این نقطه حدود ۳ درصد است که نشان می‌دهد این نقطه از لحاظ خصوصیات مخزن دارای شرایط نسبتاً مناسبی است. با بررسی‌های میدانی انجام‌شده در منطقه و مصاحبه با اداره امور عشایری استان مشخص شد نقطه

<sup>1</sup> Natural break

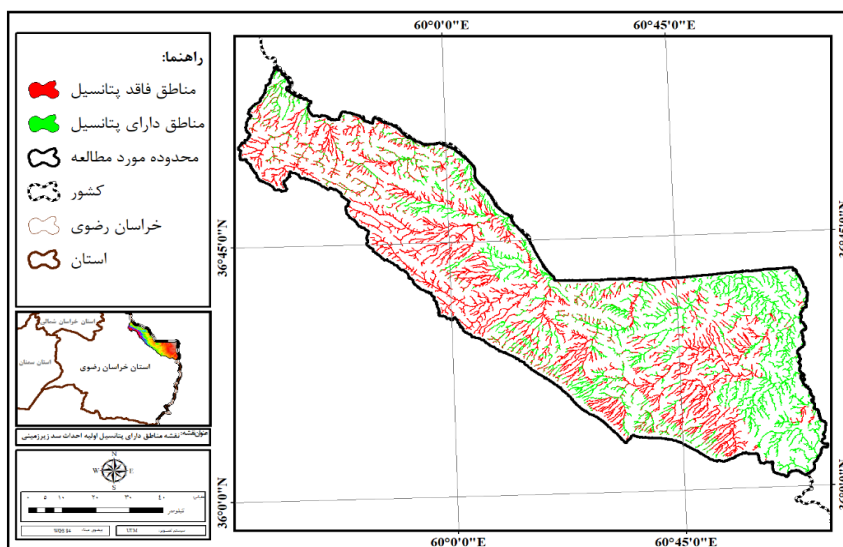
اطراف این نقطه می‌توانند از مزایای این سد استفاده کنند. از این رو این نقطه در اولویت اول جهت انجام مطالعات تکمیلی قرار دارد.

Sarakh2 در مسیر کوچ عشایر این استان قرار دارد و می‌تواند محل اسکان موقت عشایر این منطقه باشد. علاوه بر این ۱۵ خانوار و ۳۱۰۰ رأس دام ساکن در



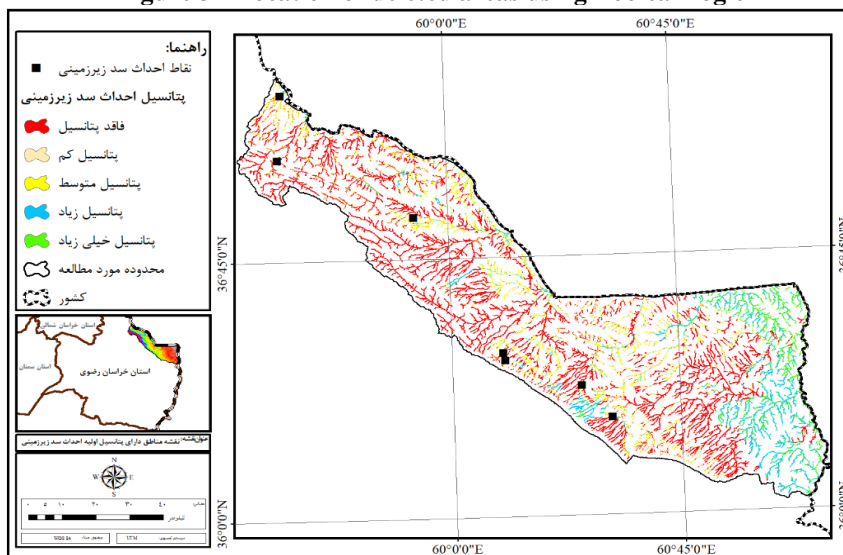
شکل ۲- نقشه نهایی معیارها A: نقشه زمین‌شناسی، B: نقشه شیب، C: نقشه موقعیت روستاها و محله‌های عشایری، D: نقشه راه‌های ارتباطی، E: نقشه کاربری اراضی

Figure 2- The final map of criteria A: geology, B: slope, C: location of villages, D: road, E: land use



شکل ۳- موقعیت مناطق حذف‌شده با استفاده از منطق بولین

Figure 3 - Location of deleted areas using Boolean logic



شکل ۴- نقشه مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی و نقاط منتخب

Figure 4- Map of suitable areas for underground dam construction and selected points

جدول ۲- مقادیر ورودی و خروجی روش CCR و AP

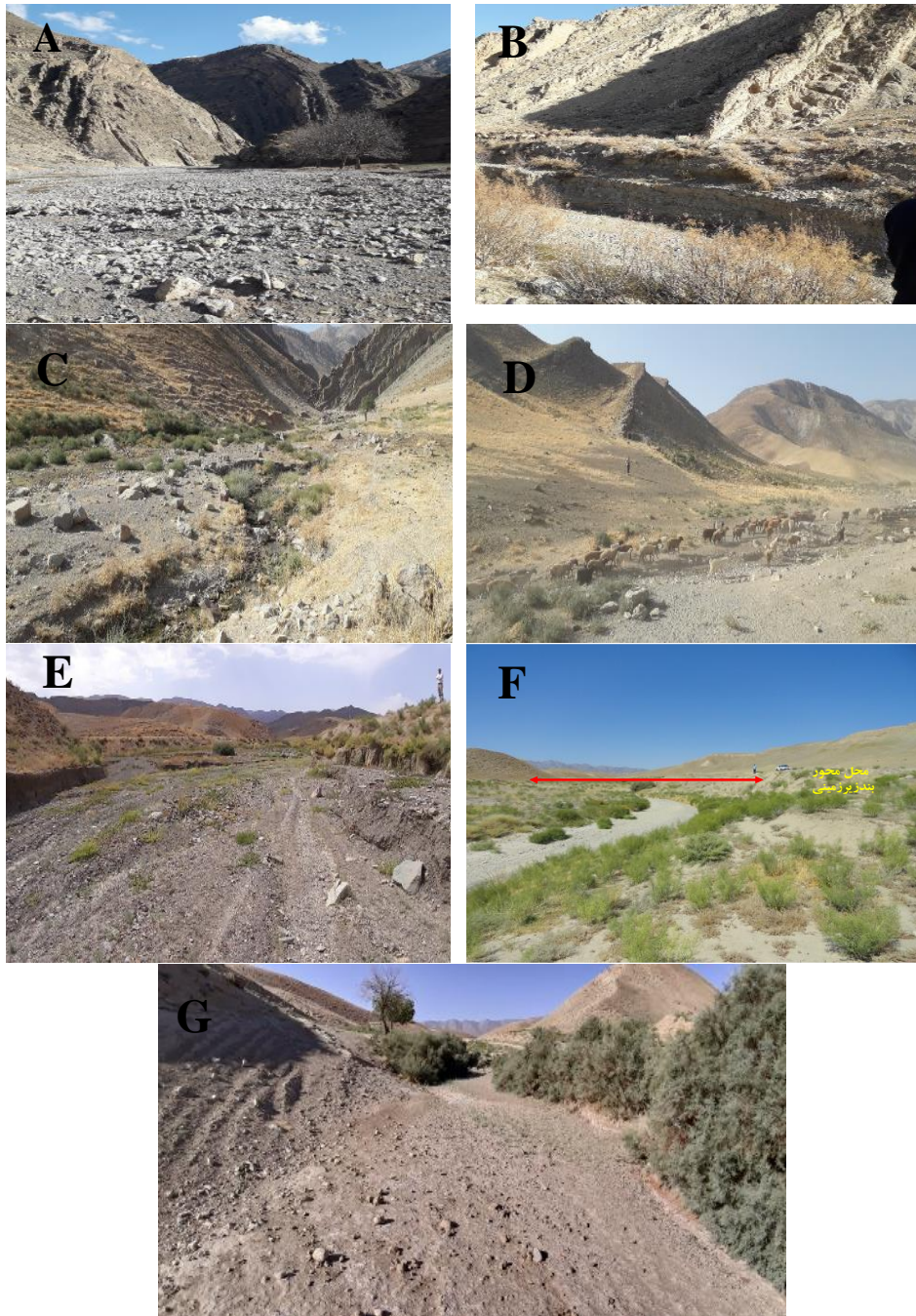
Table 2- Input and output values of CCR and AP methods

خروجی		ورودی‌ها				نقطه
حجم مؤثر مخزن (مترمکعب)	هزینه تأمین آب (ریال)	نیاز آبی منطقه (لیتر در روز)	میزان بارش (میلی‌متر)	مساحت حوضه بالادست سد (هکتار)	هزینه احداث سد (میلیارد ریال)	پیشنهادی
2977.53	1395.55	40500	282.25	8084	29.95	Kalat1
9355.62	1324.44	86500	428.89	3123.85	13.86	Kalat2
1564.94	515.55	50600	310.79	694.33	19.98	Kalat4
1435.72	426.66	56500	308.6	1863.22	23.93	Kalat5
2775.23	595.55	58150	342.91	635.15	18.16	Kalat6
3320.63	62.22	48250	227.49	4222.21	4.95	Sarakhs2
2130.36	231.11	67200	227.8	1738.41	10.97	Sarakhs3

جدول ۳ - رتبه‌بندی نقاط پیشنهادی برای انجام مطالعات تکمیلی

Table 3- Ranking of suggested points for further studies

رتبه‌بندی	اولویت‌بندی به روش AP	اولویت‌بندی به روش CCR	نقطه پیشنهادی	ردیف
5	0.67	0.67	Kalat1	1
2	2.69	1	Kalat2	2
6	0.58	0.58	Kalat4	3
7	0.39	0.39	Kalat5	4
3	1.45	1	Kalat6	5
1	5.78	1	Sarakhs2	6
4	0.86	0.86	Sarakhs3	7



شکل ۵- نمایی از نقاط منتخب A: نقطه Kalat1, B: نقطه Kalat2, C: نقطه Kalat 4, D: نقطه Kalat 5, E: نقطه Kalat6, F: نقطه

Sarakhs2, G: نقطه Sarakhs3

Figure 5- View of selected points A: Kalat1, B: Kalat2, C: Kalat 4, D: Kalat 5, E: Kalat6, F: Sarakhs2, G: Sarakhs3

### نتیجه‌گیری کلی

آب‌های زیرزمینی مرزی، به‌عنوان یکی از عناصر مهم توسعه پایدار در حوزه‌های آبریز بین‌المللی، منابع استراتژیکی هستند که می‌توانند در بدترین شرایط به کنترل اوضاع و مدیریت بحران به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک شایانی نمایند. نگرانی در زمینه کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی در مناطق مرزی، که جریان آب زیرزمینی از مرزهای سیاسی عبور می‌کند، با چالش‌های سیاسی روبرو است. هم‌زمان با افزایش تقاضا برای منابع آب شیرین در دنیا، کمبود اساسی در زمینه ایجاد چارچوب‌های قانونی در راستای همکاری، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از منابع آب زیرزمینی در عرصه بین‌المللی احساس می‌شود.

در اغلب خشک‌رودها و از جمله در سکونتگاه‌های دامداران در مناطق مرزی، جریان آب ضعیف زیرقشری بر روی سنگ‌بستر وجود دارد. میزان آب زیرسطحی آن قدر کم است که نمی‌تواند رسوبات آبرفتی واقع در روی سنگ‌بستر را اشباع کند و از این رو در این گونه مناطق، اغلب چاه‌های دستی خشک و بدون آب می‌باشند. اغلب مناطق زندگی کشاورزان و دامداران در مناطق مرزی استان بر مخروط افکنه‌ها و در مجاورت خشک‌رودها واقع شده است و به منابع آب کافی برای کشاورزی و شرب دام دسترسی ندارند. در این مناطق، با احداث سد زیرزمینی می‌توان بخش قابل توجهی از جریان آب زیرسطحی را که بر روی سنگ‌بستر در جریان بوده و برای کشاورزی و شرب دام نیز دارای کیفیت مناسب است را در مخزن آبرفتی موجود در پشت سد زیرزمینی ذخیره نمود و در مواقع نیاز مورد بهره‌برداری قرارداد. با ساخت سد زیرزمینی در مجاورت برخی از سکونتگاه‌های کشاورزان و دامداران واقع در مناطق مرزی می‌توان جریان ضعیف آب زیرقشری را در داخل نهشته‌های آبرفتی واقع در بستر خشک‌رودها ذخیره نمود. آب ذخیره‌شده دارای کیفیت مناسب برای کشاورزی و شرب دام بوده و به میزان کافی برای فصول مختلف جهت استفاده در دسترس است. در برخی از این مناطق، احداث سد زیرزمینی از نظر فنی امکان‌پذیر

بوده و از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه بوده و بخش قابل توجهی از نیاز آب کشاورزی و شرب دام بهره‌برداران را تأمین می‌کند. در برخی از مناطق مرزی استان، با توجه به نیاز شدید در تأمین آب کشاورزی و آب شرب دام، هزینه‌های اقتصادی تأمین آب پس از احداث سد زیرزمینی طی گذشت چند سال از اجرای احداث سد، مستهلک خواهد شد. اجرای پروژه منجر به افزایش درآمد قابل توجهی برای کشاورزان و دامداران برخی از مناطق مرزی استان شده و در واقع به جمعیت فعال و پویای کشاورزان و دامداران این مناطق افزوده می‌گردد. از طرف دیگر، ایجاد اشتغال و افزایش جمعیت بهره‌بردار در مناطق مرزی موجب تأمین امنیت این مناطق خواهد شد. لذا با افزایش درآمد ساکنین مناطق مرزی، رضایت‌مندی کشاورزان و دامداران مناطق مورد تحقیق نیز افزایش خواهد یافت. حذف مناطق فاقد پتانسیل تأثیر زیادی بر ساده‌تر شدن تجزیه و تحلیل و کاهش حجم کار میدانی دارد و در نتیجه باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه حوزه‌های آبخیز مرزی استان خراسان رضوی با وسعت  $7771/84$  کیلومتر مربع است با استفاده از منطق بولین و پارامترهای مهم حذفی تأثیرگذار، حدود  $58/6$  درصد از منطقه حذف شد و تقریباً حجم کار به نصف تقلیل یافت.

مکان‌یابی نوعی تحلیل مکانی است که بخش قابل توجهی از هزینه‌های پروژه را به خود اختصاص می‌دهد. از این رو مورد توجه مدیران و تصمیم‌گیران بوده و انتخاب مناطق مناسب، باعث کاهش هزینه و خسارات می‌شود. لذا استفاده از روش‌هایی که کارایی آن‌ها سنجیده شده و تقریباً اکثر عوامل مؤثر در مکان‌یابی را در نظر بگیرند ضروری است. روش AHP تحت تأثیر نظرات کارشناسان است و برخی از محققان با دید انتقادی به این روش نگاه می‌کنند. برای کاهش یا تعدیل اثر نظرات کارشناسان می‌توان با اضافه کردن روش فازی به آن عدم قطعیت را کاهش داد.

فاکتورها و عوامل بسیاری برای تعیین مکان‌یابی سد زیرزمینی وجود دارد. در بین پارامترهای تأثیرگذار در

می‌شود. در تکنیک DEA، احتیاجی به طرح فرم ریاضی ارتباط بین ورودی و خروجی وجود ندارد و ارتباط بر اساس خود مقادیر ورودی و خروجی تعیین می‌شود به همین دلیل به‌عنوان یک روش ناپارامتری طبقه‌بندی می‌شود.

دلیل انتخاب این روش برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی عدم استفاده از نظر کارشناسان است که این موضوع یک رویکرد جدید از استفاده این تکنیک به حساب می‌آید. نکته‌ای که وجود دارد این است که نتایج این روش به انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌ها بسیار وابسته است در نتیجه انتخاب نامناسب هر یک از آن‌ها، نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

### سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی انجام شده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری‌های این اداره کل در تأمین اطلاعات و حمایت مالی تشکر کنند.

مکان‌یابی سد زیرزمینی، پارامتر زمین‌شناسی به دلیل تأثیر زیادی که روی نوع آبرفت و کیفیت آب قابل استحصال دارد، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. پس از آن، شیب با وزن ۰/۲۶۸ در جایگاه دوم اهمیت قرار گرفت. کلاس شیب ۰-۳ درصد در بین سایر کلاس‌های شیب بیشترین امتیاز را دارد. در شیب‌های کم‌سرعت رواناب کاهش یافته و امکان ایجاد مخزن آب زیرزمینی وجود دارد.

سد زیرزمینی به‌عنوان یک سیستم می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد و یکی از راه‌های ارزیابی هر سیستمی بررسی کارایی آن سیستم است که معمولاً بر اساس مقادیر ورودی و خروجی آن ارزیابی می‌گردد. یکی از روش‌های قدرتمند در زمینه ارزیابی کارایی سیستم‌ها، روش تحلیل پوششی داده‌ها است که هر زمان احتیاج به مقایسه کارایی وجود داشته باشد می‌توان از آن استفاده کرد. این روش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی، برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای (DMU) است که چندین ورودی و چندین خروجی دارند. در واقع تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر یکسری بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که به آن روش ناپارامتریک نیز گفته

### References

- Agriculture Organization of Khorasan Razavi, (2019). *The appearance of the city of Kalat and Sarkhes*, 1th Edition.
- Álvarez, I., Barbero, J., & Zofio Prieto, J. (2020). A data envelopment analysis toolbox for MATLAB. *Journal of Statistical Software*, 95(3), 1-49. <http://doi.org/10.18637/jss.v095.i03>
- Abdekhodayi, M.M., Zoonenat Kermani, M., & Abkar, A. (2017). *Investigating the effective parameters in choosing the location of the underground dam under the Harmak basin in Kerman province*, 16 th Iranian Hydraulics Conference. (In Persian)
- Amanian, N., Iliati, I., & Mokhtari, M. H. (2019). Site Selection for underground dams using RS and GIS (Case study: Kashan Plain, Iran). *Journal of Arid Biome*, 9(1), 21-37.
- <http://doi.org/10.29252/aridbiom.2019.1541> (In Persian)
- Andersen, P., & Petersen, N.C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39(10), 1261-1264. <http://doi.org/10.1287/mnsc.39.10.1261>
- Archwichai, L., Mantapan, K., & Srisuk, K. (2005). *Approachability of subsurface dams in the Northeast Thailand*. In International conference on geology, geotechnology and mineral resources of Indochina, GEOINDO pp 28-30.
- Charnes, A., Cooper, WW., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [http://doi.org/10.1016/0377-7\(78\)90138-8](http://doi.org/10.1016/0377-7(78)90138-8)
- Chezgi, J., Maleki Nezhad, H., Ekhtesasi, M.R., & Nakhaei, M. (2018). Providing a comprehensive and appropriate strategy for

- the construction of an underground dam using the SWOT model QSPM matrix (A case study: Keriyān Watershed). *Journal of Water and Soil Science*, 22 (1), 187-198. <http://doi.org/10.29252/jstnar.22.1.187> (In Persian)
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. (2007). *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. Troubador publishing ltd.
- Esavi, V., Karami, J., Alimohammadi, A., & Niknezhad, S. A. (2012). Comparison the AHP and FUZZY-AHP Decision Making Methods in Underground DAM Site Selection in Taleghan Basin. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 22(85), 27-34. <http://doi.org/10.22071/gsj.2012.54018> (In Persian)
- Esmali, A., Golshan, M., & Khorrami, K. (2019). Determination of suitable areas for underground dam construction using boolean and fuzzy logics in central areas of Ardebil Province. *Journal of Watershed Management and Research*, 10(20), 225-237. <http://doi.org/10.29252/jwmr.10.20.225> (In Persian)
- Esmali Ouri, A., Golshan, M., & Khorrami, K. (2016). Prioritization of suitable axes for construction of underground dam in the Dooṣtbeiglou watershed. *Physical Geography Research*, 48(4), 645-659. <http://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60834> (In Persian)
- Fathi, A., Lee, T., & Mohebzadeh, H. (2019). Allocating Underground Dam Sites Using Remote Sensing and GIS Case Study on the Southwestern Plain of Tehran Province, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(6), 989-1002. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00961-3>
- Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F., & Castelli, F. (2008). A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(1-2), 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.04.014>
- Kharazi, P., Yazdani, M. R., & Khazealpou, P. (2019). Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain. *Groundwater for Sustainable Development*, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100240>
- Kheyrkhaḥ, A., Mohammadi, F., & Memarian, H. (2015). Determination of suitable locations for rainwater harvesting using analytic hierarchy process in GIS framework (Case study: Roodsarab watershed, Khooshab, Khorasan Razavi, Iran). *Journal of Rainwater Catchment Systems*; 3(3), 1-14. (In Persian)
- Kordi, R., Faramarzi, M., Karimi, H., Grayi, P., & Yarmohammadi, E. (2016). Mapping underground Dam in Arid and Semi-Arid Area in Western Iran (Case Study: Mehran, Ilam Province). *Journal of Watershed Management and Research*, 7(13), 172-164. <http://doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.172> (In Persian)
- Kumar, M., Kumar, R., & Singh, V. P. (Eds.). (2023). *Advances in Water Management Under Climate Change*. CRC Press. <http://doi.org/10.1201/9781003351672>
- Maleki, F., Tahmasebi P., N., Hagizada, A., Zienivand, H., & Ebrahimi, B. (2019). Site Selection for Construction of the Underground Dams in the Khorram Abad Watershed Using the Analytical Network Processes. *Watershed Management Reserches*, 32, 73-83. <http://doi.org/10.22092/wmej.2019.101703.1016> (In Persian)
- Nilsson, Å. (1988). *Groundwater dams for small-scale water supply*. In *Groundwater Dams for Small-Scale Water Supply*, (1-69). Practical Action Publishing. <http://doi.org/full/10.5555/19881859999>
- Peyrowan, H. R., Arab, M. R., & Kheirkhaḥ Zarkesh, M. M. (2018). Site selection for underground dams in selected basins of Markazi province with a Decision Support System of Spatial data. *Extension and Development of Watershed Management*, 6(20), 54-63. (In Persian)
- Rezaei, M., & Jamshidi-Zanjani, A. (2017). Landfill site selection using combination of fuzzy logic and multi criteria decision making method (Case study: Arak, Iran). *Modares Civil Engineering Journal*, 17 (2), 120-130. (In Persian)
- Rezaei, Moghaddam, M. H., Rahimpour, T., & Nakhostinrouhi, M. (2016). Potential detection of the groundwater resources using analytic network process in geographic

- information system (Case study: basins leading to Tabriz Plain). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 3(3), 379-389. <http://doi.org/10.22059/ije.2016.60026> (In Persian)
- Rostami khalaj, M., Noor, H., Bagheriyan Kalt, A., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2022). Identification of suitable sites for subsurface flow harvesting using underground dam (Case study: Border basins of Torbat-e-Jam County). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9(4), 19-32. (In Persian)
- Rostamzadeh, R., & Sofian, S. (2011). Prioritizing effective 7Ms to improve production systems performance using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS, *Expert Systems with Applications*, 31, 5166- 5177. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.045>
- Sadeghi, S. H. (2017). Hydropolitics and national security (Case study: Persian Gulf Countries). *Strategy*, 25(4), e124610. (In Persian)
- Talebi, A., & Zahedi, E. (2015). Select Suitable Areas for Underground Dam Using The Theory of Fuzzy Logic And Analytical Hierarchy Process (Case Study: Watershed Doroongar, Dargaz). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 9 (30), 41-50. (In Persian)
- Tavakoli, S., Khashei-Siuki, A., Hashemi, S. R., & Khozeyme-Nezhad, H. (2018). Comparison of FAHP and FANP Decision-Making Methods in Determining the Appropriate Locations for Constructing an Underground Dam for Water Harvesting. *Water Harvesting Research*, 3(1), 81-91. <https://doi.org/10.22077/jwhr.2019.1057>
- Webber, D., Marques, F., & de Oliveria Neto, M. B. (2019). Site selection for underground dams using spatial multi-criteria evaluation in the semi-arid region of the state of Alagoas, Brazil. In *Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: *International Symposium On Managed Aquifer Recharge* , 10, 236-244.

## Modeling the distribution of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) in Holilan, Iran, using MaxEnt method

Behroz Naseri

Department of Forest Sciences, Islamic Azad University, Ilam, Iran

\*Corresponding author: Email address: [naseribehroz2023@gmail.com](mailto:naseribehroz2023@gmail.com)

(Received: 23 September 2024

Revised: 04 April 2025

Accepted: 20 April 2025)

### Extended abstract

**Introduction:** The Zagros forests, one of the largest and most significant vegetation zones in Iran, play a vital role in sustaining natural resources and environmental stability. These forests provide critical ecosystem services, including groundwater recharge, soil erosion reduction, climate regulation, biodiversity conservation, and socio-economic benefits. Among the dominant species, *Quercus brantii* (Persian oak) holds a crucial position, widely distributed across the Zagros forests. However, this species has become highly vulnerable and is at risk of extinction due to threats such as overexploitation, habitat destruction, and climate change. This study aims to model the distribution of *Quercus brantii* using the maximum entropy (MaxEnt) method, evaluate the influence of various environmental factors on its distribution, and produce an optimal distribution map for the species in Holilan County, Ilam Province. The findings will support targeted conservation strategies and sustainable management of Zagros forests.

**Materials and Methods:** To model the distribution of *Quercus brantii* in the forests of Holilan County, Ilam Province, the MaxEnt method was employed. For model development, 75% of the data (89 points) were randomly selected as training data, and the remaining 25% (30 points) were used as test data for independent model evaluation. The maximum number of background points was set to 10,000 with 15 repetitions. Nineteen climatic variables, three physiographic variables (elevation, slope, aspect), and snow cover data were utilized. Initially, the desired environmental layers were prepared using ArcGIS software, and then the MaxEnt model was used to assess the species' current and future (2050-2070) distribution. Model performance was evaluated using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve and the Area Under the Curve (AUC) metric.

**Results and Discussion:** The evaluation of the modeling accuracy based on the ROC curve showed that the model's accuracy was at an excellent level (AUC = 0.947). The model identified annual temperature, mean monthly temperature, isothermality, annual precipitation, and elevation as the most influential variables, collectively explaining 58% of the distribution variance. Suitable habitats for *Quercus brantii* covered 7,067 hectares (excellent potential) and 10,779 hectares (good potential), while 54,750 hectares showed low-to-moderate suitability. The species primarily occurred at elevations between 1,000–2,339 meters, with higher prevalence on southern, eastern, and southeastern slopes. Presence peaked at slopes up to 25%, beyond which habitat suitability declined.

**Conclusion:** The overall findings of this study highlight the significant role of variables such as annual mean temperature, mean monthly temperature, isothermality, annual precipitation, and elevation in modeling the distribution of *Quercus brantii*. The species is predominantly distributed in southern aspects and at elevations ranging from 1,000 to 2,339 meters above sea level. This research provides valuable insights into the ecological tolerance range of *Quercus brantii* in relation to environmental variables, which can serve as a scientific basis for management decisions. The information obtained is not only effective for prioritizing protected areas and implementing conservation and restoration measures but also enhances the success rate of plantation and rehabilitation projects, aiding in the preservation and development of this species in vulnerable regions.

**Keywords:** *Quercus brantii*, Maximum entropy, Modeling, Holilan, GIS

Citation: Naseri, B. (2025). Modeling the distribution of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) in Holilan, Iran, using MaxEnt method. *Integrated Watershed Management*, 5(3), 105-117. doi= 10.22034/iwm.2025.2041786.1174

#### 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>).



## مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) در شهرستان هلیلان با استفاده از روش حداکثر آنتروپی (MaxEnt)

بهرروز ناصری

گروه علوم جنگل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایلام، ایران

\* مسئول مکاتبات: ایمیل: [naseribehroz2023@gmail.com](mailto:naseribehroz2023@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین نواحی رویشی ایران، نقشی حیاتی در پایداری منابع طبیعی و محیط‌زیست ایفا می‌کنند. این جنگل‌ها علاوه بر ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی و کاهش فرسایش خاک، به دلیل ارائه خدمات ارزشمندی مانند تعدیل اقلیم، حفاظت از تنوع زیستی و ارائه منافع اجتماعی-اقتصادی از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. در این میان، بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) مهم‌ترین گونه جنگل‌های زاگرس است و دامنه پراکنش وسیعی در این جنگل‌ها دارد. با توجه به اینکه این گونه به‌دلیل تهدیداتی مانند بهره‌برداری بی‌رویه، تخریب زیستگاه‌ها و تغییرات اقلیمی به‌شدت آسیب‌پذیر شده و در معرض خطر نابودی قرار دارد، این تحقیق با هدف مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی با استفاده از روش حداکثر آنتروپی (MaxEnt)، بررسی تأثیر عوامل مختلف محیطی بر پراکنش و تهیه نقشه پراکنش بهینه آن در شهرستان هلیلان با استفاده از روش حداکثر آنتروپی انجام شد. نتایج این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر برای حفاظت از این گونه ارزشمند و مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس کمک کند.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق برای مدل‌سازی پراکنش این گونه در جنگل‌های شهرستان هلیلان استان ایلام از روش حداکثر آنتروپی استفاده شد. برای ایجاد مدل، ۷۵ درصد داده‌ها (۸۹ نقطه) به‌صورت تصادفی به عنوان داده‌های آموزشی و ۲۵ درصد (۳۰ نقطه) مابقی به عنوان داده‌های آزمون جهت ارزیابی مستقل مدل به کار رفت. حداکثر تعداد نقاط پس‌زمینه نیز ۱۰۰۰۰ با ۱۵ تکرار در نظر گرفته شد. برای این کار از ۱۹ متغیر اقلیمی، ۳ متغیر فیزیوگرافی و پوشش برف استفاده شد. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS لایه‌های محیطی موردنظر تهیه گردید. سپس از مدل MaxEnt برای بررسی توزیع فعلی و آینده (۲۰۵۰-۲۰۷۰) گونه استفاده شد. همچنین برای ارزیابی دقت مدل‌سازی، آماره سطح زیر نمودار در منحنی ROC اندازه‌گیری شد.

**نتایج و بحث:** ارزیابی دقت مدل‌سازی بر اساس منحنی ROC نشان داد که دقت مدل در سطح عالی است ( $AUC = 0.947$ ). نتایج این مطالعه نشان داد که درجه حرارت سالانه، متوسط درجه حرارت ماهانه، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا بیشترین سهم را در مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی داشتند. علاوه بر این، درجه حرارت سالانه و متوسط درجه حرارت ماهانه بیش از نیم درصد سهم کل متغیرها یعنی ۵۸ درصد پراکنش گونه بلوط ایرانی را توجیه کردند و بیشترین سهم را در توجیه پراکنش آن دارا هستند. نتایج مدل نشان داد که محدوده‌ای با مساحت ۷۰۶۷ هکتار در منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل عالی و محدوده‌ای با مساحت ۱۰۷۷۹ هکتار دارای پتانسیل خوب جهت پراکنش گونه بلوط ایرانی می‌باشد. از طرفی ۵۴۷۵۰ هکتار از محدوده منطقه مورد مطالعه پتانسیل ضعیف و متوسطی برای پراکنش گونه بلوط ایرانی نشان داد. نتایج نشان داد که دامنه ارتفاعی حضور گونه بلوط ایرانی از ۱۰۰۰ تا ۲۳۳۹ متر از سطح دریا بوده که با افزایش ارتفاع، احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. گونه بلوط ایرانی تقریباً در تمام جهات جغرافیایی دیده می‌شود و دامنه غالب حضور گونه دامنه‌های جنوبی، شرقی و جنوب‌شرقی است و با افزایش شیب تا حدود ۲۵ درصد، حضور گونه در رویشگاه دارای روند افزایشی است و پس از آن با محدودیت مواجه خواهد شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج کلی این مطالعه نشان داد که متغیرهایی نظیر دمای متوسط سالانه، دمای متوسط ماهانه، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا نقش مهمی در مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی ایفا می‌کنند. پراکنش این گونه عمدتاً در جهات جنوبی و در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۳۳۹ متر از سطح دریا مشاهده شد. این تحقیق اطلاعات ارزشمندی درباره دامنه تحمل‌پذیری گونه بلوط ایرانی نسبت به متغیرهای محیطی ارائه می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان مبنای علمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد. این اطلاعات نه‌تنها در اولویت‌بندی مناطق حفاظت‌شده و اجرای اقدامات حفاظتی و اصلاحی مؤثر هستند، بلکه با افزایش احتمال موفقیت طرح‌های کاشت و احیاء، به حفظ و توسعه این گونه در مناطق در معرض تخریب کمک می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** بلوط، حداکثر آنتروپی، مدل‌سازی، هلیلان، GIS.

**استناد:** ناصری، ب. (۱۴۰۴). مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) در شهرستان هلیلان با استفاده از روش حداکثر آنتروپی (MaxEnt). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۳)، ۱۱۷-۱۰۵.

**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

جنگل‌های زاگرس به عنوان وسیع‌ترین ناحیه رویشی ایران، دارای جایگاه ویژه‌ای در توسعه اقتصادی بوده و تضمین‌کننده بقاء و پایداری آب و خاک کشور می‌باشند. این جنگل‌ها حدود یک‌سوم جمعیت کل کشور را در خود جای داده و از گذشته محل زندگی ساکنین و عشایر بوده‌اند (Fatahi, 1995). جنگل‌های زاگرس به واسطه نقشی که در ذخیره آب‌های زیرزمینی، حفاظت خاک و دیگر خدمات اجتماعی-اقتصادی ایفا می‌کنند، از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. به‌همین دلیل به اطلاعات به‌هنگام برای برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارند. هرگونه برنامه‌ریزی نیازمند گستره وسیعی از اطلاعات همه‌جانبه و به‌هنگام است تا با استفاده از آن‌ها برای اتخاذ تصمیم‌های جامع و کامل، حفظ و استمرار این جنگل‌ها تحقق و تداوم یابد. از آنجایی که پوشش گیاهی موجود در جنگل‌های زاگرس قادر به تولید چوب قابل استفاده در صنایع مربوطه نمی‌باشد؛ بنابراین نمی‌توان حجم توده جنگلی را به عنوان یک عامل بررسی و اندازه‌گیری مورد استفاده قرار داد.

در سال‌های اخیر، افزایش دسترسی به داده‌های اقلیمی و استفاده گسترده از مدل‌های توزیع گونه‌ای، پژوهش‌های بوم‌شناسی را تسهیل کرده است. این مدل‌ها، بین پارامترهای محیطی و حضور و عدم حضور گونه‌های گیاهی- جانوری روابط کمی برقرار می‌کنند، سپس این روابط برای پیش‌بینی توزیع گونه‌ها در مناطق نمونه‌برداری نشده مورد استفاده قرار گرفته و همچنین تغییرات زیست‌محیطی و پیامدهای بوم‌شناختی ناشی از آن را مورد بررسی قرار می‌دهند (Elith & Leathwick, 2009).

آگاهی از پراکنش گونه‌های گیاهی و عوامل تأثیرگذار بر آن‌ها از اهمیت به‌سزایی در مدیریت، بهره‌برداری پایدار و حفاظت از آن‌ها برخوردار است، به‌ویژه در حال

حاضر که زیستگاه‌ها و جمعیت گونه‌ها به دلیل افزایش تخریب‌های انسانی، تغییرات آب و هوایی و آفات و امراض محدود شده‌اند. متأسفانه به دلیل محدودیت زمانی و بودجه در دسترس برای مطالعه، اطلاعات کافی از پراکنش گونه‌ها در اختیار نیست. از این رو روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای ابزار مناسبی برای غلبه بر این محدودیت‌ها هستند. در این روش‌ها پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی با استفاده از متغیرهای محیطی که با پراکنش گیاهان همبستگی داشته یا کنترل‌کننده این پراکنش هستند، قابل پیش‌بینی است.

بطور کلی، روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای معرفی شده‌اند که عمده این روش‌ها وابسته به نقاط حضور و عدم حضور گونه و متغیرهای زیستگاهی هستند که تداعی‌کننده عناصر آشیان بوم‌شناختی آن گونه می‌باشند. یکی از مدل‌های قوی در بررسی نحوه توزیع گونه‌ها الگوریتم حداکثر آنتروپی<sup>۱</sup> (MaxEnt) است (Phillips *et al.*, 2006). الگوریتم حداکثر آنتروپی متأثر از محدودیت‌های ناشی از متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع مکانی گونه است. در واقع این مدل محل حضور را با متغیرهای محیطی در آن مناطق بررسی می‌کند و سپس در سراسر منطقه مورد مطالعه از اصول حداکثر آنتروپی برای تولید نقشه پیش‌بینی در مناطقی که نمونه‌برداری نشده‌اند استفاده می‌کند (Elith *et al.*, 2006; Yang). به همین دلیل، از مهمترین اهداف این مطالعه، مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) با استفاده از روش حداکثر آنتروپی، بررسی تأثیر عوامل مختلف بر پراکنش گونه بلوط در شهرستان هلیلان و تهیه نقشه پراکنش بهینه گونه بلوط در شهرستان هلیلان با استفاده از روش حداکثر آنتروپی می‌باشد.

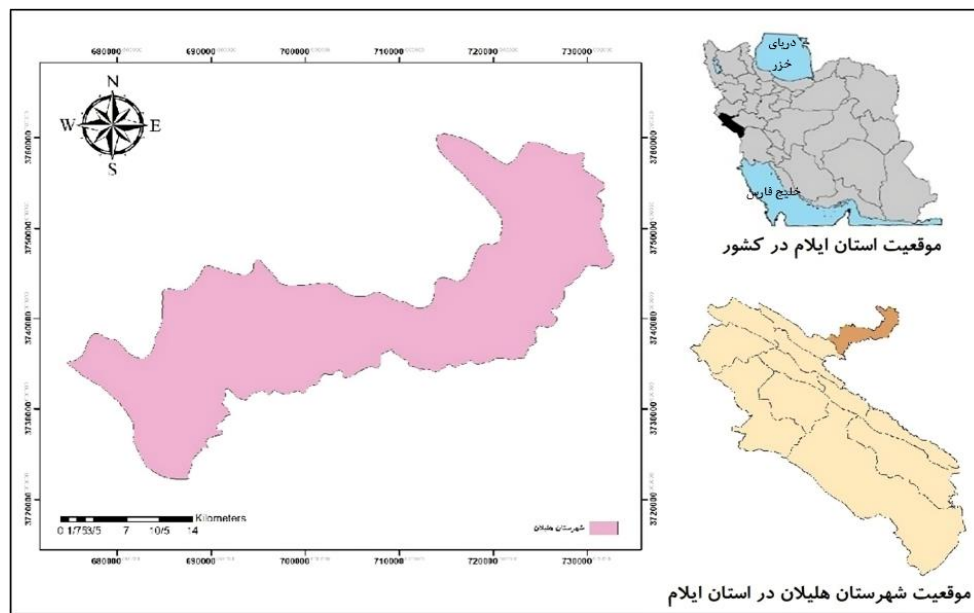
<sup>1</sup> Maximum entropy

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان هلیلان در شمال استان ایلام با مساحت ۷۲۵۹۶ هکتار می‌باشد. این شهرستان در مجاورت استان‌های کرمانشاه و لرستان قرار دارد. بر اساس سیستم مختصات متریک، منطقه در طول ۶۷۳۹۸۴ و عرض ۳۶۷۲۲۵۷ متر تا طول ۷۳۴۴۵۵ و عرض ۳۷۱۹۹۲۸ متر واقع شده است (شکل ۱).

پوشش غالب آن را جامعه جنگلی بلوط (*Quercetum*) تشکیل می‌دهد تیپ غالب جوامع جنگلی در اکثر نقاط گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) بوده (Amini & Shahbazi, 2015) که ۹۰ درصد پوشش جنگلی را به خود اختصاص داده است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک بوده و میانگین بارندگی و دمای سالیانه آن به ترتیب ۵۵۰/۵ میلی‌متر و ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان ایلام

Figure 1 - Location of the study area in the country and Ilam province

### روش تحقیق

ابتدا محدوده پراکنش گونه درختی بلوط با استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی که از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهیه شده بود، مشخص گردید. سپس، بر اساس عوامل فیزیوگرافی (میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا)، مناطق همگن محیطی تفکیک شدند و به صورت تصادفی سایت‌های نمونه‌برداری در طبقات همگن، انتخاب گردید. سپس نقاط حضور گونه در این مناطق جنگلی بر اساس بررسی‌های میدانی (اطلاعات کارشناسان اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان هلیلان، ساکنین مناطق و جنگل گردشی) انتخاب شد. ملاک این انتخاب، حضور توده‌هایی بود که گونه موردنظر در آنها

تراکم بیشتری داشته باشد. از آنجایی که برای یک قدرت تحلیل مناسب حداقل یک نسبت ده‌تایی از متغیر پیش‌بینی کننده برای اندازه نمونه، باید مورد استفاده قرار گیرد (Miller, 2010)، در نهایت، نقشه حضور گونه بلوط با طول و عرض جغرافیایی مشخص و جهت ورود به مدل آماده‌سازی گردید. شکل ۲ موقعیت نقاط حضور ثبت شده در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج اولیه حاصل از جنگل گردشی نشان داد که بخش‌های وسیعی از شهرستان دارای پایه‌های گونه بلوط ایرانی هستند. توده‌های با نسبت آمیختگی بالا که کمترین فاصله بین این توده‌ها ۵ کیلومتر بود انتخاب شدند و مختصات طول و عرض جغرافیایی نقاط حضور گونه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی

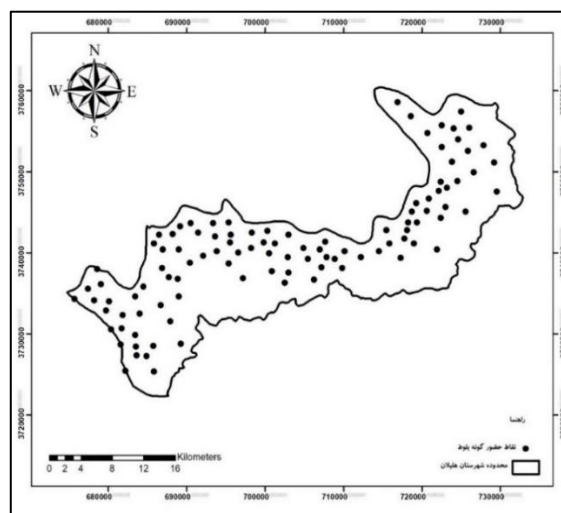
بین نقاط رخداد گونه و متغیرهای محیطی بهترین تابع توزیع را بر اساس مفهوم حداکثر آنتروپی تعیین کرده و سپس تابع مذکور را به سرتاسر منطقه مورد مطالعه تعمیم می‌دهد و نقشه پراکنش گونه موردنظر را تولید می‌کند. مدل به منظور پیش‌بینی توزیع حاضر و آینده (۲۰۷۰-۲۰۵۰) در نرم‌افزار MaxEnt 3.3.3k اجرا شد. برای تولید مدل، ۷۵ درصد داده‌ها به صورت تصادفی به عنوان داده‌های آموزشی و ۲۵ درصد دیگر به عنوان داده‌های آزمون جهت ارزیابی مستقل مدل به کار رفتند. حداکثر تعداد نقاط پس‌زمینه ۱۰۰۰۰ با ۱۵ تکرار در نظر گرفته شد و مابقی تنظیمات به صورت پیش‌فرض پذیرفته گردید (Yang et al., 2013). همچنین برای محاسبه سطح زیر منحنی از پلات ROC استفاده شد. نمودار ROC به صورت گرافیکی نشان می‌دهد که یک مدل تا چه میزان قادر است بین کلاس‌های مختلف تمایز قائل شود (Gonçalves et al., 2014). منحنی ROC با ترسیم یک منحنی دوبعدی از نسبت نرخ مثبت صحیح<sup>۲</sup> (TPR) در برابر نرخ مثبت کاذب<sup>۳</sup> (FPR) ایجاد می‌شود. محور عمودی نمودار نمایانگر TPR و محور افقی نمایانگر FPR است. در این منحنی، سطح زیر نمودار<sup>۴</sup> (AUC)، یک معیار عددی است که عملکرد کلی یک مدل را نشان می‌دهد. دامنه AUC بین صفر و ۱ است بطوریکه اعداد نزدیک به ۱ نشان‌دهنده عملکرد عالی در شناسایی کلاس‌ها و اعداد نزدیک به صفر نشان‌دهنده عملکرد ضعیف و عدم توانایی در تفکیک کلاس‌ها می‌باشد.

## نتایج

### عوامل فیزیوگرافی

برای تهیه نقشه‌های عوامل فیزیوگرافی ابتدا مدل رقومی ارتفاع با استفاده از خطوط توپوگرافی تهیه و سپس نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا با دقت ۳۰ متر از آن استخراج گردید (شکل‌های ۳ تا ۵).

(GPS) ثبت شدند (شکل ۲). به منظور مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی در شهرستان هلیلان به تولید نقشه برخی عوامل محیطی مؤثر در انتشار جغرافیایی این گونه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.7 پرداخته شد. متغیرهای محیطی زیستی مورد استفاده برای مدل‌سازی شامل ۱۹ متغیر اقلیمی، ۳ متغیر فیزیوگرافی و متغیر پوشش برف بودند. لازم به ذکر است پیش از مدل‌سازی، همبستگی بین متغیرها بررسی و همبستگی بیش از ۰/۷ مشاهده نشد. در این مطالعه از نرم‌افزارهای Idrisi Selva، ENVI 4.5 و MaxEnt 3.3.3k نیز استفاده شد.



شکل ۲- نقشه نقاط ثبت‌شده حضور گونه بلوط ایرانی

در شهرستان هلیلان (*Quercus brantii* Lindl)

Figure 2- Map of the recorded points of presence of oak species (*Quercus brantii* Lindl) in Holilan city

### مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt)

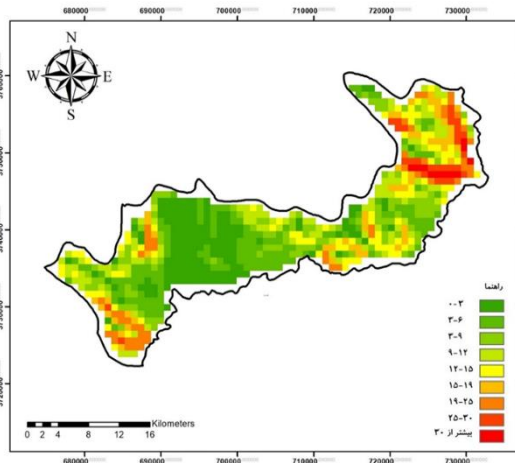
مدل MaxEnt یک مدل توزیع گونه‌ای نشأت گرفته از ماشین‌های یادگیری است که برای پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه‌ها به کار می‌رود (Phillips et al., 2006). در این روش، ابتدا لایه‌های محیطی ورودی بر اساس نقاط مشاهده شده وارد مدل می‌شوند. مدل MaxEnt

<sup>4</sup> Area Under the Curve

<sup>2</sup> True Positive Rate

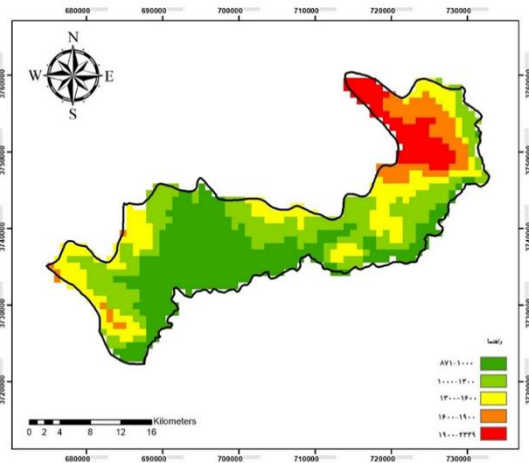
<sup>3</sup> False Positive Rate

محدوده مورد مطالعه (ژانویه و فوریه)، طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ به کمک نرم افزارهای ENVI 4.7 و TerrSet 2020 تولید گردید (شکل ۶).

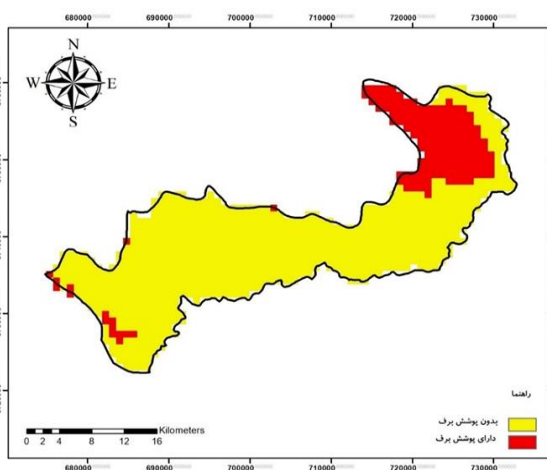


شکل ۴- نقشه طبقات درصد شیب در شهرستان هلیلان  
Figure 4- Map of slope percentage classes in Holilan city

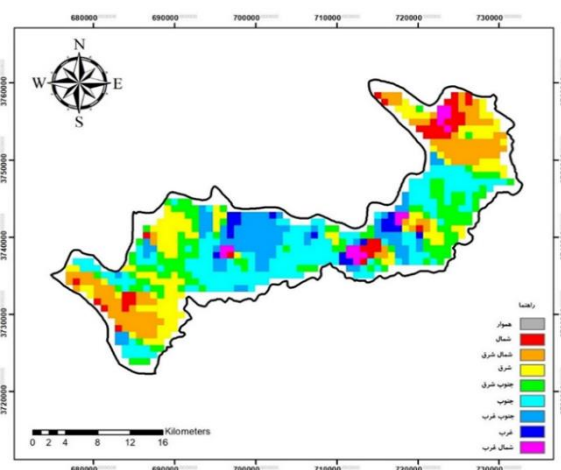
نقشه پوشش برف با استفاده از محصول ۸ روزه و ۵۰۰ متری MOD10A2 که در پایگاه داده <https://nsidc.org> موجود است، برای دو ماه پربرف مشخص شده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی



شکل ۳- نقشه طبقات ارتفاعی شهرستان هلیلان  
Figure 3- Map of elevation classes of Holilan city



شکل ۶- نقشه تراکم پوشش برف شهرستان هلیلان  
Figure 6- Snow cover density map of Holilan city

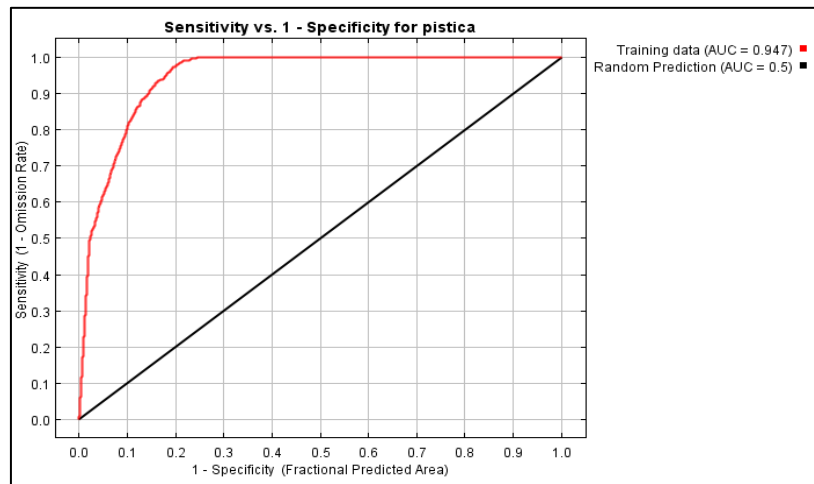


شکل ۵- نقشه طبقات جهت شیب در شهرستان هلیلان  
Figure 5- map of slope direction classes in Holilan city

درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا هستند. دو متغیر دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت بیش از نیم درصد سهم کل متغیرها یعنی ۵۸ درصد پراکنش گونه را توجیه می‌کنند و بیشترین سهم را در توجیه پراکنش آن دارا هستند (جدول ۱).

### سطح زیر منحنی

در این تحقیق، ارزیابی نتایج مدل‌سازی با شاخص سطح زیر نمودار (AUC) نشان داد که این آماره با عدد ۰/۹۴۷ بیانگر پیش‌بینی عالی مدل است. سهم هر یک از متغیرها در توسعه مدل نیز در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق این جدول مهمترین متغیرهایی که بیشترین سهم را در مدل داشته‌اند به ترتیب دامنه



شکل ۷- منحنی ROC و مقدار AUC مدل پراکنش گونه بلوط در شهرستان هلیلان

Figure 7- ROC curve and AUC value of oak species distribution model in Holilan city

جدول ۱- سهم تأثیرگذاری (اهمیت) متغیرهای زیست‌محیطی در پراکنش گونه بلوط در شهرستان هلیلان

Table 1- The influence (importance) of environmental variables on the distribution of oak species in Holilan city

درصد اهمیت	متغیر	ردیف	درصد اهمیت	متغیر	ردیف
0.7	بارش فصلی	13	38	دامنه درجه حرارت سالانه	1
0.6	متوسط درجه حرارت سردترین فصل سال	14	20	میانگین دامنه دمای روزانه	2
0.5	جهت	5	14.5	شاخص هم‌دمایی	3
0.5	درصد شیب	16	7.6	بارش سالانه	4
0.4	حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال	17	5.7	ارتفاع از سطح دریا	5
0.3	حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال	18	4.1	درجه حرارت فصلی	6
0.1	بارش سردترین فصل سال	19	1.7	درجه حرارت متوسط سالانه	7
0	بارش گرم‌ترین فصل سال	20	1.6	بارش مرطوب‌ترین ماه	8
0	متوسط درجه مرطوب‌ترین فصل سال	21	1.2	بارش مرطوب‌ترین فصل سال	9
0	متوسط درجه حرارت گرم‌ترین فصل سال	22	1	پوشش برف	10
0	بارش خشک‌ترین ماه	23	0.9	متوسط درجه حرارت خشک‌ترین فصل سال	11
			0.8	بارش خشک‌ترین فصل سال	12

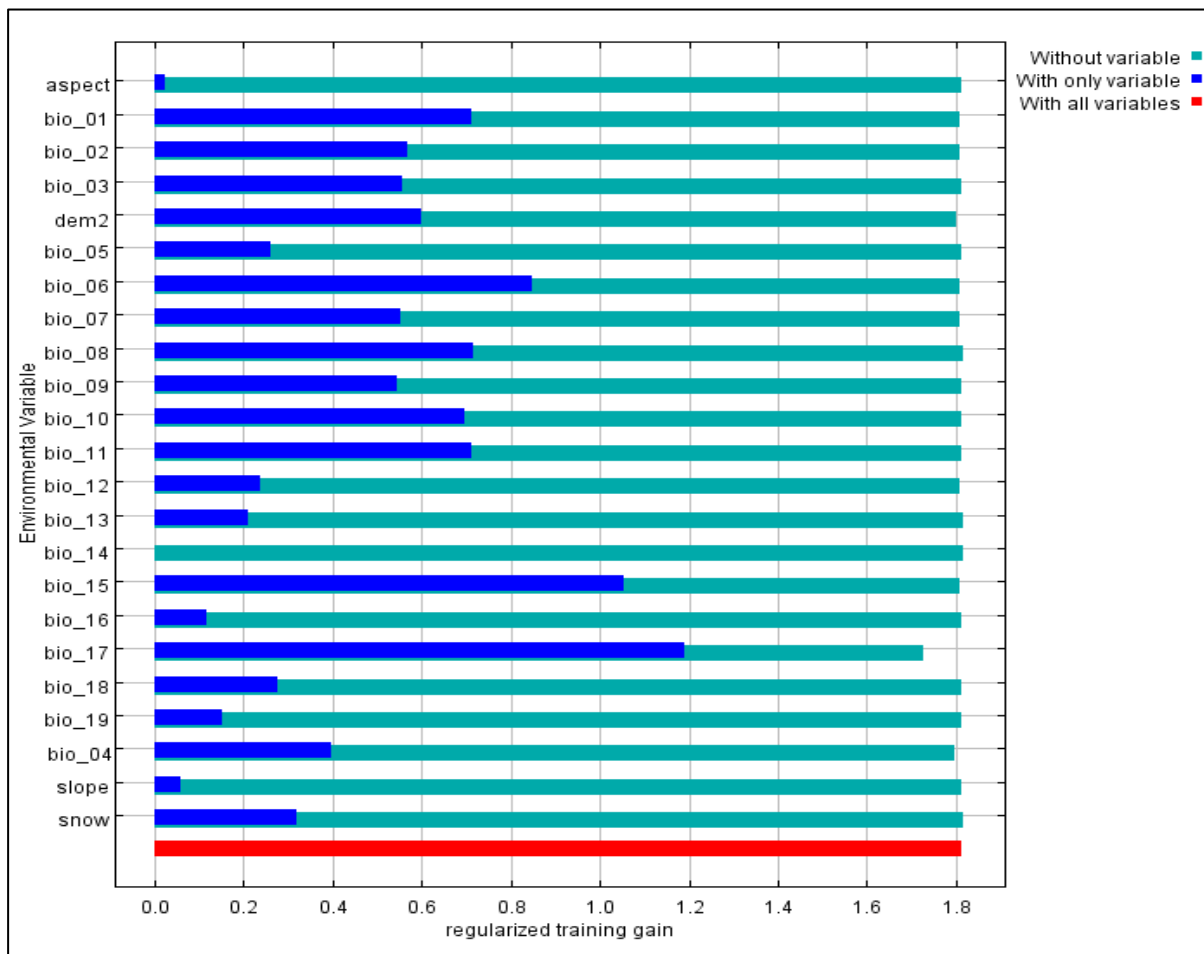
### نتایج تحلیل جک نایف

آنالیز جک‌نایف<sup>۵</sup> دستیابی به افزوده (Gain) را در سه حالت مختلف مدل (بدون یک متغیر خاص، تنها با یک متغیر خاص و با تمام متغیرها) نشان می‌دهد. مطابق نتایج این تحلیل، بارندگی خشک‌ترین فصل سال (Bio17) متغیری است که حذف آن بیشترین کاهش را در AUC ایجاد می‌کند. بر اساس نتایج این آزمون بارش فصلی (Bio15) و حداقل دمای سردترین ماه

(Bio06) بیشترین سهم را در پیش‌بینی مدل داشته‌اند (شکل ۹). به علاوه، در این مطالعه منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی نیز ترسیم شدند (شکل ۱۰). منحنی‌های پاسخ نشان‌دهنده اثر متغیرها روی احتمال توزیع گونه هستند و اینکه هر متغیر به چه شیوه‌ای بر پراکنش گونه تأثیرگذار بوده است. در نهایت بر اساس کارایی خوب مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه بلوط بر اساس نقاط احتمال حضور (پراکنش) این گونه

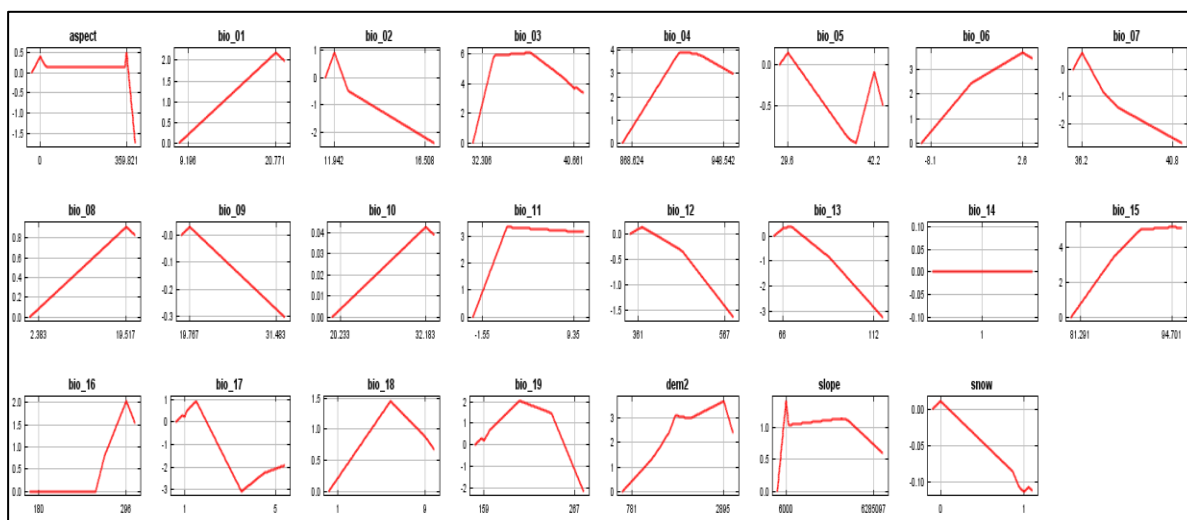
<sup>5</sup> Jackknife

در شهرستان هلیلان تعیین گردید (شکل ۱۱). مطابق این شکل بهترین مکان‌های پیش‌بینی شده برای حضور گونه بلوط در شهرستان هلیلان در مناطق مرتفع و با شیب کمتر می‌باشد.



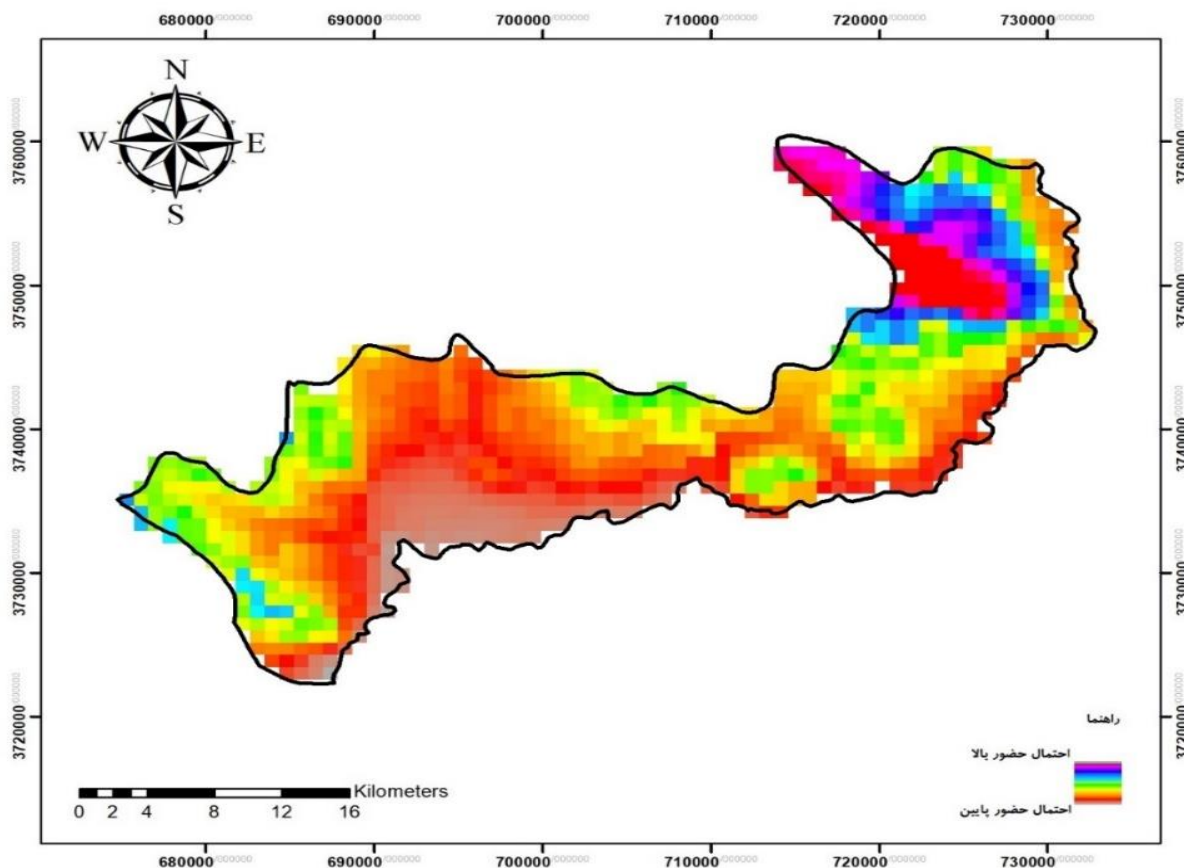
شکل ۹- نتایج آزمون جک نایف برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی در توسعه مدل

Figure 9- Jackknife test results to determine the importance of environmental variables in model development



شکل ۱۰- منحنی‌های پاسخ گونه بلوط ایرانی نسبت به متغیرهای محیطی

Figure 10- The response curves of Persian Oak species to environmental variables



شکل ۱۱- پراکنش پیش‌بینی شده گونه بلوط ایرانی در شهرستان هلیلان

Figure 11- Predicted distribution of Persian Oak species in Holilan city

هکتار را پوشش می‌دهد. بر اساس نتایج حاصله ۵۴۷۵۰ هکتار از سطح شهرستان، پتانسیل ضعیف و متوسطی برای پراکنش گونه بلوط در منطقه مورد مطالعه دارد (جدول ۲ و شکل‌های ۱۲ و ۱۳). با مشاهده شکل ۲ و در نظر گرفتن تراکم نقاط حضور درخت، تطابق بالایی دو نقشه مشاهده می‌شود.

### پیش‌بینی تغییرات پراکنش گونه بلوط تحت

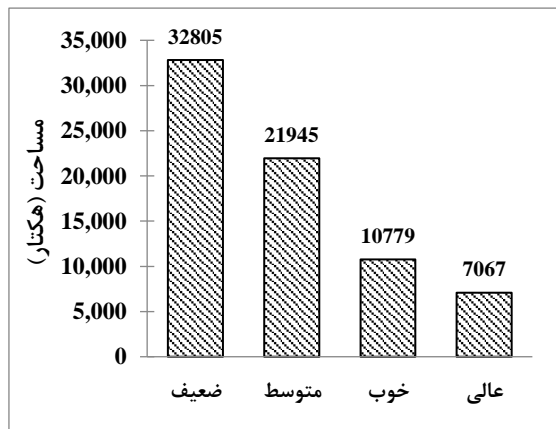
#### مدل حداکثر آنتروپی

نتایج نشان داد که محدوده با پتانسیل عالی جهت پراکنش گونه بلوط در منطقه مورد مطالعه مساحتی معادل ۷۰۶۷ هکتار را به خود اختصاص داده است و محدوده با پتانسیل خوب مساحتی معادل ۱۰۷۷۹

جدول ۲- طبقات پراکنش گونه بلوط ایرانی تحت مدل حداکثر آنتروپی

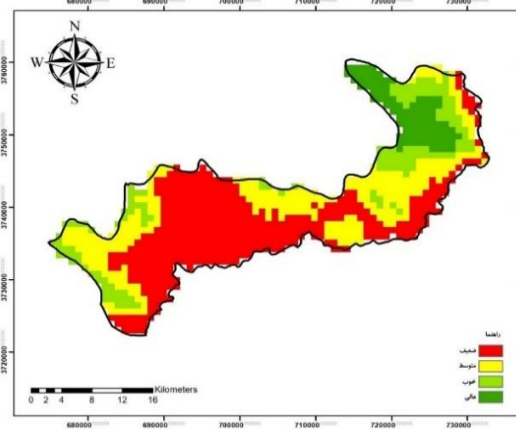
Table 2- distribution classes of Persian Oak species under the MaxEnt model

درصد از کل مساحت	مساحت (هکتار)	طبقات پتانسیل گونه
45.18	32805	ضعیف
3.22	21945	متوسط
14.84	10779	خوب
9.73	7067	عالی
100	72596	مجموع



شکل ۱۳- مساحت پتانسیل پراکنش گونه بلوط ایرانی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی

Figure 13- The area of Persian Oak species distribution potential using the MaxEnt model



شکل ۱۲- طبقات پتانسیل پراکنش گونه بلوط ایرانی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی

Figure 12- Persian Oak species distribution potential classes using the MaxEnt model

گونه بلوط را در استان فارس را ۲۵۵۰-۱۰۵۰ متر از سطح دریا بیان کردند.

نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین پراکنش گونه در مناطقی است که کمترین فاصله را با خط برف دارند. همچنین، زمانی که متوسط درجه حرارت در سردترین فصل سال صفر تا ۱۵ و در مرطوبترین فصل حدود ۱۹/۵ درجه سانتیگراد و بارش سالانه ۲۵۰-۱۰۰ میلی متر باشد، احتمال حضور گونه افزایش می یابد. به عبارت دیگر، گونه بلوط در مناطقی حضور پیدا می کند که نیاز رطوبتی آن با ذخیره در فصل سرد (بارش زمستان) و فصل گرم (ذوب برف) تأمین شود. گونه بلوط، دره ها، مسیل ها و محل های تجمع رطوبت را برای تأمین نیاز آبی خود و جبران افزایش درجه حرارت به سایر مناطق ترجیح می دهد (Querejeta et al., 2009). افزایش فاصله از خط برف به علت افزایش درجه حرارت، موجب هدررفت و تبخیر این ذخیره آبی شده و نمی تواند گیاه را برای سال های آینده به ویژه در شرایط خوب و بسیار خوب سرپا نگه دارد. Ahmed و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه جامعه شناسی گیاهی و ساختار جنگل های هیمالیا در پاکستان عامل فاصله از خط برف و عمق برف را در توزیع گونه بلوط در این مناطق تأثیرگذار دانستند. Marvi Mohajer (۲۰۰۶)

## بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه، رویشگاه مطلوب گونه بلوط ایرانی به عنوان یکی از گونه های مهم جنگل های زاگرس با استفاده از ۲۳ پارامتر محیطی (فیزیوگرافی، زیست اقلیمی و شرایط پوشش سطح زمین) تحت مدل توزیع گونه ای حداکثر آنتروپی برای شرایط حاضر مدل سازی شد. نتایج نشان داد که دامنه ارتفاعی حضور گونه بلوط از ۱۰۰۰ تا ۲۳۳۹ متر از سطح دریا بوده، تقریباً در تمام جهات جغرافیایی دیده می شود و جهت غالب حضور گونه دامنه های شمال و شمال شرق است و با افزایش شیب تا حدود ۲۵ درصد، حضور گونه در رویشگاه دارای روند افزایشی است و پس از آن با محدودیت مواجه خواهد شد (شکل ۱۰).

بیشترین فراوانی حضور گونه در طبقه ارتفاعی چهارم، ۱۳۰۰-۲۰۰۰ متر و شیب ۲۰-۳۰ درصد و جهات جغرافیایی شمال و شمال شرقی می باشد که با یافته های Sarangzai و همکاران (۲۰۱۲) که در بررسی اکولوژی و پویایی گونه ارس در بلوچستان پاکستان، دامنه ارتفاعی این گونه را ۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر و شیب حضور گونه را ۱۰ تا ۳۰ درصد دانستند، همخوانی دارد. Bordbar و همکاران (۲۰۱۰) نیز، دامنه ارتفاعی توزیع

می‌پذیرد؛ بنابراین شناخت عوامل تأثیرگذار بر پراکنش جغرافیایی گونه می‌تواند در شناسایی مکان بالقوه گونه‌هایی که ارزش حفاظتی آب و خاک را دارند، کارآمد باشد و همچنین به احیاء و توسعه اکوسیستم‌های تخریب شده کمک کند. مدل‌های پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی مطالعاتی هستند که با داشتن داده‌هایی با قابلیت اطمینان بالا می‌توانند از صرف وقت و هزینه زیاد جلوگیری کرده و انجام تحقیقات اکولوژیکی را مقرون به صرفه نمایند. کارایی مدل حداکثر آنتروپی ثابت کرده که در بحث تعیین مطلوبیت زیستگاه و پراکنش گونه‌ها خیلی مؤثر بوده زیرا فقط بر داده‌های حضور متکی بوده و فاقد بسیاری از عوارض مرتبط با روش‌های تحلیلی حضور و غیاب است (Baldwin, 2009). نتایج به دست آمده از ارزیابی عملکرد مدل حداکثر آنتروپی از طریق آماره سطح زیر منحنی (AUC) معادل ۰/۹۴۷ نشان داد که مدل از توانایی پیش‌بینی عالی برخوردار بوده است. مطالعات بیانگر آن است که حتی در مواقعی که تعداد نمونه‌ها کم است، عملکرد پیش‌بینی روش حداکثر آنتروپی می‌تواند با روش‌هایی که بالاترین دقت پیش‌بینی را دارند، رقابت کند و نتایج قابل قبولی را ارائه دهد (Peterson & Shaw, 2003; Elith *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2013).

در فرآیند مدل‌سازی دانستن این که کدام متغیرها و به چه میزان در مدل‌سازی نقش داشته‌اند اهمیت دارد، نتایج حاصل از عملکرد گونه در امتداد شیب تغییرات محیطی از طریق منحنی‌های پاسخ به دست می‌آید و بر اساس بررسی که در ارتباط با عوامل مؤثر بر پراکنش گونه بلوط در این پژوهش انجام شد، مشخص شد که دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا از مهمترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه بلوط ایرانی در سطح استان ایلام است. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه Yaghmaei و همکاران (۲۰۰۹) در خصوص بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر گسترش تیپ‌های جنگلی در استان چهارمحال و بختیاری

به تأثیر نقش برف بر توسعه و رشد گونه بلوط تأکید کرده است. به عبارت دیگر، نتایج حاکی از آنست که ذوب برف و دامنه‌های برف‌گیر و رطوبت ناشی از آن، از مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر رشد گونه و پراکنش آن در سطح منطقه می‌باشند، با توجه به وجود دوره خشکی سه تا پنج ماهه، ذوب تدریجی برف در این دوره نقش مهمی در تأمین نیاز آبی گیاهان دارد. با افزایش ارتفاع و ماندگاری برف، کاهش دما به‌ویژه در فصول سرد سال، احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. Sass- و همکاران (۲۰۰۷)، در مطالعه‌ی حلقه‌های رویشی بلوط در کوهستان‌های شمالی عمان، متوسط درجه حرارت ۱۸، حداکثر ۳۶/۳ و حداقل ۳/۶- درجه سانتی‌گراد را عنوان کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده دو متغیر درجه حرارت سالانه و بارش سالانه تأثیرگذارترین پارامترها بر توزیع گونه بلوط در محدوده مورد مطالعه بوده‌اند.

بررسی خروجی مدل توزیع گونه‌ای نمایشگر آن است که توزیع پتانسیل گونه بلوط در شرایط اقلیمی حاضر، در طبقات مختلف احتمال حضور گونه دارای اختلاف زیادی است. مدل MaxEnt، سطح حضور گونه را در طبقه پتانسیل ضعیف بیش‌تر و در پتانسیل عالی کمتر پیش‌بینی کرده است. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل، دارای عملکرد بسیار ضعیف نبوده که بتوان خروجی حاصل از آن را حذف یا نادیده گرفت. این موضوع با نتایج مطالعات سایر محققان در جنوب آسیا، مانند Remya و همکاران (۲۰۱۵) در کشور هند و Khanum و همکاران (۲۰۱۳) در کشور پاکستان مطابقت دارد. نتایج اجرای مدل‌ها در مقیاس محلی نشان داد که دو عامل متوسط درجه حرارت مرطوب‌ترین فصل و ارتفاع از سطح دریا، اثرگذارترین متغیرها بر توزیع گونه در منطقه بوده و دامنه تغییرات آن‌ها، احتمالاً متفاوت با بررسی احتمال حضور گونه در مقیاس منطقه‌ای خواهد بود.

پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی و استقرار آن‌ها در عرصه‌های طبیعی، بر اساس دامنه بردباری‌شان به عوامل مختلف محیطی و ویژگی‌های اکولوژیکی صورت

ارتفاع مهمترین عامل توپوگرافی در پیش‌بینی پراکنش گونه بلوط ایرانی شناخته شد. نتایج حاصل از آزمون جک نایف نیز نشان داد که متغیرهای دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا بر پراکنش گونه تأثیر بیشتری نسبت به دیگر متغیرها دارند که با نتایج حاصل از مطالعه‌ای هم‌هنگی دارد که دمای گرمایی را مهمترین عامل در پراکنش پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری می‌داند (Parisaei, 2006). تأثیر عامل دما بیشتر در قسمت‌های جنوب و جنوب‌شرقی استان بارز است و طبق منحنی پاسخ گونه بیشترین پراکنش گونه بلوط ایرانی نیز در جهت جنوبی بوده است.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق اطلاعات کلیدی و مهمی را درباره دامنه تحمل‌پذیری گونه بلوط نسبت به متغیرهای محیطی تأثیرگذار فراهم آورده است. این اطلاعات در اتخاذ تصمیمات مدیریتی برای اولویت‌بندی مناطق حفاظتی و انجام اقدامات اصلاحی و حفاظتی به‌خصوص در مناطقی که پوشش گیاهی در حال تخریب است، مؤثر بوده و شانس موفقیت در طرح‌های کاشت و احیاء را افزایش می‌دهد.

همخوانی دارد. این محققین با بررسی ۷۱ متغیر اقلیمی و با استفاده از روش تحلیل عاملی نشان دادند که دمای گرمایی و بارش از مهمترین عوامل اقلیمی مؤثر بر پراکنش تیپ‌های جنگلی دارای گونه زالزالک است که یکی از گونه‌های غالب در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد.

منحنی عکس‌العمل گونه بلوط نسبت به ارتفاع از سطح دریا نشان داد که بیشترین احتمال حضور گونه در مناطقی با ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر پیش‌بینی می‌شود و با افزایش ارتفاع احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد که با نتایج حاصل از تحقیقی که در جنگل‌های شهرستان آبدانان استان ایلام روی گونه زالزالک انجام شد، همخوانی دارد (Hashemnia, 2014).

پراکنش بلوط ایرانی در دامنه ارتفاعی بسیار وسیع می‌باشد؛ اما بهترین رویشگاه این گونه در حوزه رویشی زاگرس در ارتفاعات ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا است. بلوط در جهات مختلف جغرافیایی می‌روید ولی بیشترین سطح گسترش آن در جهات جنوبی است و نیز سرشت نورپسند آن موجب شده در جهات جنوبی دارای تاج پوشش و تراکم بیشتری باشد (Fatahi, 1995) که این موضوع با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. Titshall و همکاران (۲۰۰۰) بیان نمودند که ارتفاع، شیب و جهت سه عامل توپوگرافی مهمی هستند که پراکنش و الگوهای پوشش گیاهی را در مناطق کوهستانی کنترل می‌کنند. در مطالعه حاضر نیز

### References

- Ahmed, M., Husain, T., Sheikh, A.H., Hussain, S.S., & Siddiqui, M.F. (2006). Phytosociology and structure of Himalayan forests from Himalayan climatic zones of Pakistan. *Journal of Botany*, 38(2), 361-383.
- Amini, A., & Shahbazi, Z. (2015). Estimating the recreational value of oak forest in Sirvan and Chardavol Townships using contingent valuation method (CVM). *Spatial Planning*, 5(1), 27-48. (In Persian)
- Baldwin, R.A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. Kearney agricultural center. University of California, *Entropy*, 11, 854-866. <https://doi.org/10.3390/e11040854>
- Bordbar, K., Sagheb-Talebi, Kh., Hamzehpour, M., Joukar, L., Pakparvar, M., & Abbasi, A. R. (2010). Impact of environmental factors on distribution and some quantitative characteristics of Manna Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Fars Province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(3), 390-404. (In Persian)
- Bradley, A.P. (1997). The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms. *Pattern recognition*, 30(7), 1145-1159. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(96\)00142-2](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(96)00142-2)

- Elith, J. Graham, C.H., & Anderson, R.P. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Echography*, 29, 129-151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Fatahi, M. (1995). *The history of Zagros vegetation, especially Pistacia atlantica forests, an article presented in the first national seminar of Pistacia atlantica* (Green Pearl). Ilam. 26-62. (In Persian)
- Gonçalves, L., Subtil, A., Oliveira, M. R., & de Zea Bermudez, P. (2014). ROC curve estimation: An overview. *REVSTAT-Statistical Journal*, 12(1), 1-20. <https://doi.org/10.57805/revstat.v12i1.141>
- Hashemnia., M. (2014). *Ecological Survey of Crataegus pontica species and rehabilitation of suitable regions for plantation in Abdanan*. M.Sc. Thesis Faculty of Agriculture. Ilam University (In Persian)
- Khanum, R., Mumtaz, A.S., & Kumar, S. (2013). Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. *Acta Oecologica*, 49, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.02.007>
- Marvi Mohajer, M. (2006). *Forestry and Forestry*. Tehran University Press, Iran: Tehran. (In Persian)
- Miller, J. (2010). Species Distribution Modeling. *Geography Compass*. 4(6), 490-509. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00351.x>
- Parisaei, B. (2006). Investigation of important climatic factors on distribution of vegetation types in Charmahal province using statistical multivariate methods and GIS. *Master's thesis, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology*. (In Persian)
- Peterson, A.T., & Shaw, J. (2003). Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models. predicted geographic distribution, and climate change effects. *International Journal of Parasitology*, 33, 919-931. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(03\)00094-8](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(03)00094-8)
- Phillips, S.J. Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Querejeta, J. I., Egerton-Warburton, L. M., & Allen, M. F. (2009). Topographic position modulates the mycorrhizal response of oak trees to interannual rainfall variability. *Ecology*, 90(3), 649-662. <https://doi.org/10.1890/07-1696.1>
- Remya K., Ramachandran A., & Jayakumar, S. (2015). Predicting the current and future suitable habitat distribution of Myristica dactyloides Gaertn using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. *Ecological Engineering*, 82, 184-188. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.053>
- Sarangzai, A. M., Ahmed, M., Ahmed, A., Tareen, L., & Jan, S. U. (2012). The ecology and dynamics of Juniperus excelsa forest in Balochistan - Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 44(5), 1617-1625.
- Sass-Klaassen, U., Leuschner, H.H., Buerkert, A., & Helle, G. (2008). Tree-ring analysis of Juniperus excelsa from the northern Oman Mountains. *TRACE Dendrosymposium. 3-6 may, Riga, Latvia*.
- Titshall, L.W. O'Connor, T.G., & Morris, C.D. (2009). Effect of long-term exclusion of fire and herbivory on the soils and vegetation of sour grassland. *African Journal of Range and Forage Science*, 17, 70-80. <https://doi.org/10.2989/10220110009485742>
- Yaghmaei, L., Khodaghali, M., Soltani, S., & Saboohi, R. (2009). Effect of climatic factors on distribution of forest types using multivariate statistical methods. *Iranian Journal of Forest*, 1(3), 239-251. (In Persian)
- Yang, X.Q. Kushwaha, S.P.S. Saran. S. Xu, J., & Roy, P.S. (2013). Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, Justicia adhatoda L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51, 83-87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.004>

## Designing a sustainable management model for nomadic rangelands in Kermanshah Province

Ayoub Mahmoudi Mastali, Marjan Vahedi\*, Ali Reza Poursaeed, Hamed Chaharsoughi Amin

Department of Agricultural extension and education, Il.C., Islamic Azad University, Ilam, Iran

\*Corresponding author: [ma.vahedi@iau.ac.ir](mailto:ma.vahedi@iau.ac.ir)

(Received: 17 November 2024

Revised: 04 January 2025

Accepted: 20 April 2025)

### Extended Abstract

**Introduction:** Rangelands are one of the most vital bases for the continuation of life and sustainable development and the most basic production factor in traditional livestock systems. The expansion of production activities and population growth on the one hand, and the collapse of the traditional comprehensive rangeland management system on the other, have created an unfavorable situation in the rangelands. Today, with population growth and need for food, the necessity of sustainable use of rangelands is of great importance in the process of sustainable development. Undoubtedly, this necessity demands that its use in development programs be continuously. Since management is one of the most important factors in the productivity of rangelands and most of the country's rangelands are exploited by nomads, these areas require proper management with the aim of preserving, revitalizing, developing, and optimal exploitation. Therefore, designing a model of sustainable management of nomadic rangelands in Kermanshah Province is essential. Therefore, this research seeks to answer the question, what are the components and dimensions of the sustainable management model of rangelands under grazing by nomads in Kermanshah Province?

**Materials and methods:** The present qualitative study is applied research in terms of its purpose, which was conducted using the grounded theory method. The statistical population of the study was specialists and experts in the field of animal husbandry, environmental protection, rangelands, and nomads of Kermanshah province, of whom 13 were interviewed using purposive sampling, and theoretical saturation was achieved. Data analysis was performed in the form of conventional content analysis using MAXQDA software. The results were coded in three stages: open, axial, and selective coding. In the open coding stage, 29 key concepts were identified. At the end of the coding stages, a sustainable management model for nomadic rangelands was extracted using the paradigm model.

**Results and Discussion:** Based on the research findings, in the paradigm model, the education and research system, scientific and technical management of rangelands and forests, the executive system and the development of nomadic capacities were identified as the components of the central category. Economic, governmental, individual and cultural factors were identified as causal conditions; factors related to the rangelands and factors related to the users as contextual conditions; and natural and human factors as intervening conditions. Also, based on the results, fundamental factors and innovation were identified as strategies, and employment creation, promotion of management performance and improvement of production were the outcomes of implementing the sustainable management model of nomadic rangelands.

**Conclusion:** This study presents a paradigmatic model demonstrating how sustainable nomadic rangeland management is shaped by livelihood conditions, contextual factors, and policy interventions. If implemented with consideration for nomadic lifestyles and ecological conditions, the model can enhance pasture sustainability and productivity. The findings are valuable for the General Office of Nomad Affairs, Natural Resources Organization, Veterinary Organization, and Nomad Cooperative Union in policymaking and rangeland management.

**Keywords:** Model, Grounded Theory, Kermanshah, Sustainable Management, Nomadic Rangeland

Citation: Mahmoudi Mastali, A., Vahedi, M., Poursaeed, A., & Chaharsoughi Amin, H. (2025). Designing a model of sustainable management of nomadic rangelands in Kermanshah province. *Integrated Watershed Management*, 5(3), 118-138. doi: 10.22034/iwm.2025.2045340.1188

#### 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>).



## ارائه الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه

ایوب محمودی مستعلی، مرجان واحدی\*، علیرضا پورسعید، حامد چهارسوقی امین

گروه ترویج و آموزش کشاورزی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

\*نویسنده مسئول: [ma.vahedi@iau.ac.ir](mailto:ma.vahedi@iau.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** مراتع از حیاتی‌ترین بسترهای تداوم حیات و توسعه پایدار و اساسی‌ترین عامل تولید در دامداری سنتی هستند. گسترش فعالیت‌های تولیدی و افزایش جمعیت از یک سو و درهم‌ریختگی سامانه سنتی مدیریت جامع مراتع از سوی دیگر، وضعیت نامناسبی را در مراتع به وجود آورده است. امروزه با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، ضرورت بهره‌برداری پایدار از مراتع در فرآیند توسعه پایدار از اهمیت و جایگاه بالایی برخوردار است. بی‌تردید این ضرورت ایجاب می‌کند که بهره‌برداری از آن در برنامه‌های توسعه‌ای به‌طور مستمر ارتقا یابد. با توجه به این مسئله که مدیریت یکی از مهمترین عوامل در بهره‌وری مراتع است و قسمت اعظمی از مراتع کشور نیز توسط عشایر مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، این عرصه‌ها نیازمند اعمال مدیریتی صحیح با هدف حفظ، احیاء، توسعه و بهره‌برداری بهینه هستند، لذا طراحی الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه امری ضروری می‌باشد؛ بنابراین این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این سؤال است که مؤلفه‌ها و ابعاد الگوی مدیریت پایدار مراتع تحت چرای دام عشایر استان کرمانشاه کدامند؟

**مواد و روش‌ها:** مطالعه کیفی حاضر از نظر هدف پژوهشی کاربردی است، که به روش تئوری بنیادی انجام گرفته است. جامعه آماری پژوهش، متخصصان و کارشناسان حوزه نظارت بر دامپروری، حفاظت از محیط‌زیست و مراتع و عشایر استان کرمانشاه بوده‌اند که به روش نمونه‌گیری هدفمند با ۱۳ نفر از آنان مصاحبه انجام گرفت و اشباع نظری حاصل شد. تحلیل داده‌ها در قالب تحلیل محتوای متعارف با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA انجام شد. نتایج در سه مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی کدگذاری شدند. در مرحله کدگذاری باز، ۲۹ مفهوم کلیدی شناسایی شد. در پایان مراحل کدگذاری با به کار بردن مدل پارادایمی، الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری استخراج گردید.

**نتایج و بحث:** بر اساس یافته‌های تحقیق، در مدل پارادایمی، نظام آموزش و تحقیقات، مدیریت علمی فنی مراتع و جنگل‌ها، نظام اجرایی و توسعه ظرفیت‌های عشایری به‌عنوان اجزای مقوله محوری شناسایی گردیدند. عوامل اقتصادی، دولتی، فردی و فرهنگی به‌عنوان شرایط علی؛ عوامل مرتبط با مرتع و عوامل مرتبط با بهره‌برداران به‌عنوان شرایط زمینه‌ای؛ و عوامل طبیعی و انسانی به‌عنوان شرایط مداخله‌گر حاصل شده است. همچنین بر اساس نتایج، عوامل بنیادی و نوآوری به‌عنوان راهبردها شناسایی شدند و ایجاد اشتغال، ارتقاء عملکرد مدیریتی و بهبود تولید، پیامدهای حاصل از اجرای الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری بودند.

**نتیجه‌گیری:** مدل پارادایمی پژوهش گویای آن است که مقوله مدیریت پایدار مراتع عشایری از شرایط علی یعنی جنبه‌های مختلف معیشت عشایری تأثیر پذیرفته و بر راهبردهای مدیریت پایدار مراتع تأثیرگذار است. همچنین بر مبنای الگوی پژوهش راهبردهای مدیریت پایدار مراتع عشایری از شرایط مداخله‌گر، شرایط زمینه‌ای و مقوله محوری تأثیر می‌پذیرند و راهبردها بر روی پیامدهای مدیریت پایدار مراتع عشایری تأثیر می‌گذارند. به‌طور کلی بر مبنای این الگو می‌توان گفت که چنانچه مدیریت پایدار مراتع عشایری با توجه به شرایط معیشتی عشایر تعریف و اجرا گردد، راهبردهای مدیریت پایدار مراتع نیز مبتنی بر شرایط واقعی زندگی عشایر و وضعیت اکولوژیکی منطقه بوده و رسیدن به دستاوردهای مدیریت پایدار از جمله اشتغال و بهبود تولید نیز دور از انتظار نخواهد بود. بکارگیری الگوی مستخرج از این پژوهش می‌تواند در پایداری مراتع تحت چرای دام عشایر و بهره‌برداری بهتر عشایر از این مراتع مؤثر باشد، به‌گونه‌ای که کمترین زیان متوجه مراتع استان گردد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند مورد استفاده اداره کل امور عشایر، اداره کل منابع طبیعی استان، اداره کل دامپزشکی و اتحادیه تعاونی عشایری گردد.

**واژه‌های کلیدی:** مدل، تئوری بنیادی، کرمانشاه، مدیریت پایدار، مراتع عشایری

**استناد:** محمودی مستعلی، الف، واحدی، م، پورسعید، ع؛ و چهارسوقی امین، ح. (۱۴۰۴). طراحی الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۳)، ۱۳۸-۱۱۸.

### 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

مراعات به‌عنوان یکی از منابع طبیعی تجدیدشونده هر کشور، از نظر تولید آب، حفاظت خاک، تولید علوفه، تأمین زیستگاه حیات‌وحش، تصفیه هوا، استفاده تفرجگاهی و غیره حائز اهمیت می‌باشد (Hajarian, 2022) و از حیاتی‌ترین بسترهای تداوم حیات و توسعه پایدار و اساسی‌ترین عامل تولید در دامداری سنتی هستند.

گسترش فعالیت‌های تولیدی اعم از بخش کشاورزی، منابع طبیعی و دیگر بخش‌های اقتصادی و رشد روزافزون جمعیت و تقاضا از یک سو و درهم‌ریختگی سامانه سنتی مدیریت جامع مراعات که از گذشته تا به امروز در چارچوب نظام سنتی بهره‌برداری می‌شود از سوی دیگر، وضعیت نامناسبی را در این عرصه‌ها به‌وجود آورده است (Rigi et al., 2019)، به نحوی که اکثر صاحب‌نظران و کارشناسان بر این موضوع اتفاق نظر دارند که مراعات ایران با مشکلات و چالش‌های متعدد و چندجانبه‌ای روبه‌رو هستند (Rigi et al., 2019). در واقع یکی از مشکلات کشورهای جهان سوم به‌ویژه در مناطق روستایی و عشایری وابستگی زیاد مردم محلی به بهره‌برداری از منابع طبیعی است که باعث وارد آمدن فشار بیش از حد و در نهایت تخریب سریع این منابع می‌گردد (Barghi et al., 2019).

با آنکه دامداری عشایری برای سده‌های طولانی یکی از پویاترین و رایج‌ترین اشکال تولید و استفاده از مراعات و برای قرن‌ها مقاوم و پایدار بوده است، امروزه به‌دلایلی از جمله به هم خوردن تعادل انسان دام و مراعات که خود پیامدی از رشد جمعیت و عوامل بازدارنده اقلیمی، حقوقی، اقتصادی و سیاسی-اجتماعی بوده با چالش و ناپایداری مواجه شده است (Yousefi et al., 2021). در حال حاضر، موضوع مهم در بهره‌برداری از مراعات در تغذیه دام، بهره‌برداری مناسب دامداران از این منبع است، به‌گونه‌ای که پایداری آن حفظ شود و در بلندمدت بتواند نقش مناسب‌تری در فرآیند تولید و اقتصاد روستایی ایفا کند، زیرا پایداری مراعات با توجه به نقش آن در اقتصاد روستایی، می‌تواند سبب توسعه

پایدار روستایی گردد؛ بنابراین با توجه به اهمیت رویکرد پایداری منابع محیط‌زیستی و مدیریت بهینه در این زمینه، باید بهترین برنامه‌ریزی‌ها را برای انواع جوامع ارائه کرد؛ به‌گونه‌ای که در چهارچوبی نظام‌مند، از منابع محیطی از جمله مراعات استفاده شود. مدیریت بهینه مراعات می‌تواند به توسعه پایدار روستاها کمک کند؛ چراکه دامداری از گذشته تاکنون، از ارکان محوری بخش کشاورزی و اقتصاد ملی و از منابع عمده تأمین غذای انسان به شمار می‌رفته است (Fall Solayman et al., 2017).

امروزه با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، ضرورت بهره‌برداری پایدار از مراعات در فرآیند توسعه پایدار از اهمیت و جایگاه بالایی برخوردار است. بی‌تردید این ضرورت ایجاب می‌کند که بهره‌برداری از آن در برنامه‌های توسعه‌ای به‌طور مستمر ارتقا یابد (Soultani et al., 2023). با توجه به این مسئله که مدیریت یکی از مهمترین عوامل در بهره‌وری مراعات است (Hajarian, 2022) و قسمت اعظمی از مراعات کشور هم توسط عشایر مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (Yousefi et al., 2017)، این عرصه‌ها نیازمند اعمال مدیریتی صحیح با هدف حفظ، احیاء، توسعه و بهره‌برداری بهینه هستند (Hajarian, 2022). تاکنون مطالعات متعددی پیرامون مدیریت پایدار مراعات در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است که در ادامه به نتایج برخی از مطالعات مرتبط پرداخته شده است. Taheri و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود نشان دادند که جنبه‌های مختلف معیشت عشایری می‌تواند بر تلاش‌های مدیریتی برای سازمان‌دهی و توسعه زندگی عشایری در منطقه تأثیر بگذارد. نتایج پژوهش Madadizadeh و همکاران (۲۰۲۱) نشان می‌دهد که از دیدگاه کارشناسان، از بین عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران در مدیریت شامل عوامل اجتماعی، اقتصادی، ترویجی، آموزشی و مدیریتی، عوامل اجتماعی به مراتب سهم بیشتری در مقایسه با سایر متغیرها در پیش‌بینی متغیر وابسته دارند. بر اساس یافته‌ها، اهمیت دادن به عوامل اجتماعی می‌تواند نقش

به‌سزایی در جلب مشارکت مرتع‌داران در مدیریت مرتع ایفا کند. Neghabi و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود تحت عنوان «مدیریت مراتع در جهت توسعه پایدار» به این نتیجه رسیدند که پایداری مرتع زمانی محقق می‌شود که تعادل بین تولید و بهره‌برداری از آن برقرار باشد. علاوه بر بهره‌برداری، عواملی نظیر ترسالی، خشکسالی، فرسایش خاک و برنامه‌های اصلاحی نیز بر میزان تولید اکوسیستم تأثیرگذارند و در مدیریت مرتع باید اثر این عوامل به‌صورت کمی مورد ارزیابی قرار گیرد. عدم شناخت صحیح از زوایای پنهان ساختار اقتصادی و اجتماعی جوامع، مانع از موفقیت سازمان‌های ذیربط در مهار بحران تخریب منابع طبیعی، به‌ویژه مراتع، و بازسازی این منابع شده است. Rigi و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود با عنوان «شناسایی عدم قطعیت‌ها، پیشران‌ها و راهبردهای پایداری معیشت وابسته به مرتع‌داری در جوامع روستایی» تأکید کردند که عدم قطعیت در تمامی گروه‌ها وجود دارد و برنامه‌ریزی باید با این عدم قطعیت‌ها هماهنگ باشد. بیشترین خوسه‌های عدم قطعیت در زمینه‌های خدمات حمایتی، مدیریت طرح مرتع‌داری، توان تولید مراتع و منابع آب شناسایی شد. عامل مدیریت (سیاسی، مدیریتی، قانونی) به عنوان مهم‌ترین پیشران پایداری معیشت روستایی مطرح گردید. برای دستیابی به پایداری معیشت مرتع‌داری، ضروری است برنامه‌ها با توجه به سناریوهای دینامیک و ارکان اصلی مانند مدیریت، قانون‌گذاری و اقتصاد منابع طبیعی تدوین شوند و استراتژی‌های مؤثر در حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست به کار گرفته شوند.

Ajarlu (۲۰۱۸) در تحقیق خود با عنوان «تلفیق دانش بومی و نوین برای مدیریت پایدار مراتع روستایی سیستان» به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به مدیریت پایدار مراتع در منطقه مورد مطالعه، لازم است این مدیریت در چارچوب ساختار نظام‌های بهره‌برداری و عوامل اکولوژیکی ارزیابی و تحلیل شود؛ در غیر این صورت، معیشت پایدار برای بهره‌برداران (روستاییان،

کشاورزان و غیره) تضمین نخواهد شد. اگرچه دانش بومی و دانش رسمی از نظر ماهیت و کاربرد تفاوت‌های زیادی دارند، این تفاوت به معنای تقابل آنها نیست. بر اساس تجربیات، این دو نوع دانش نه‌تنها با یکدیگر در تضاد نیستند، بلکه در زمینه کشاورزی و توسعه روستایی می‌توانند به عنوان مکمل‌های مناسبی برای رفع نیازهای توسعه‌ای یکدیگر عمل کنند. Moghadam و Shahriari (۲۰۱۷) در تحقیقی با هدف بررسی تأثیر طرح‌های منابع طبیعی بر وضعیت اقتصادی و اجتماعی بهره‌برداران مراتع شهرستان رابر به این نتیجه دست یافتند که عدم همخوانی طرح‌ها با نیازهای مرتعداران، بی‌توجهی به شرایط کلی آنان نظیر مشکلات مالی و بی‌سوادی، و به‌علاوه عدم فرهنگ‌سازی مناسب، از جمله عمده‌ترین موانع تأثیرگذار بر اجرای مؤثر طرح‌های مرتع‌داری هستند. این موانع موجب می‌شوند که طرح‌های منابع طبیعی نتوانند به‌درستی نیازهای بهره‌برداران را پاسخگو باشند و اثرات مثبتی بر وضعیت اقتصادی و اجتماعی آنها نداشته باشند. Mirdeilami (۲۰۱۷) در خصوص استخراج ساختار سلسله‌مراتبی عوامل مؤثر در نظام مدیریت مراتع ایران نشان می‌دهد که این نظام دارای سه سطح اصلی است. در سطح اول، عرصه‌های مرتعی، نظام آموزش و تحقیقات، نظام اجرایی و نظام بهره‌برداری قرار دارند. سطح دوم شامل اجزای عرصه‌ی مرتعی مانند آب، خاک، پستی‌وبلندی و گیاه، اجزای نظام آموزش و تحقیقات (آموزش و تحقیقات)، اجزای نظام اجرایی (مدیریت، بودجه و اعتبار، نیروی انسانی و سازمانی) و اجزای نظام بهره‌برداری (مالکی/حقوقی، اقتصادی، اجتماعی/فرهنگی و مدیریت چرا) است. در نهایت، سطح سوم شامل اجزای مدیریت (طرح و برنامه‌ریزی، نظارت و ارزیابی، ترویج و مشارکت‌های مردمی و قوانین و مقررات) و اجزای سازمانی/تشکیلاتی (درون‌سازمانی و برون‌سازمانی) می‌باشد. در پژوهشی Zare Chahouki و Sanaei (۲۰۱۷) با عنوان واکاوی عامل‌های محیطی و مدیریتی مؤثر بر پایداری زیست‌بوم‌های مرتعی، نتیجه‌گیری شد که پایداری

وضوح نشان می‌دهند که موفقیت در مدیریت پایدار مراتع نیازمند توجه به عوامل مختلفی از جمله تأثیر جنبه‌های معیشتی، نقش عوامل اجتماعی، تعادل، ادغام دانش بومی و مدرن، اهمیت سواد و آموزش، و سرمایه‌گذاری در مدیریت پایدار است. به‌طور کلی، این مجموعه تحقیقات نشان می‌دهد که مدیریت پایدار مراتع نیازمند یک رویکرد جامع و چندبُعدی است که به‌طور مؤثر به نیازهای اجتماعی، اقتصادی و محیطی جامعه محلی پاسخ دهد. ایجاد تعادل بین بهره‌برداری و حفظ منابع، تقویت مشارکت اجتماعی، و ادغام دانش‌های مختلف، از جمله کلیدهای موفقیت در این حوزه هستند. برای دستیابی به این اهداف، لازم است که سیاست‌گذاران و مدیران با دقت به نیازهای محلی توجه کنند و برنامه‌های خود را بر اساس شرایط و الزامات خاص هر منطقه تنظیم کنند.

عشایر کشور با جمعیت ۱ میلیون و ۱۱۵ هزار نفر (۱/۴ درصد از جمعیت کشور) (Nomads Affairs Organization of Iran, 2019) و ۲۹ درصد دام سبک کشور، عمده‌ترین بهره‌برداران اراضی مرتعی کشور هستند که به سبب بهره‌برداری از اراضی حاشیه‌ای و مراتع و نیز تولید با حداقل هزینه، در گذر سال‌ها فعالیتشان از دیدگاه اقتصادی تداوم یافته است (IANA, 2019). مراتع با حدود ۸۵ میلیون هکتار، ۵۱/۵ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است (Mahdavi et al., 2023) و میزان تولید علوفه سالیانه مراتع حدود ۱۰/۷ میلیون تن علوفه خشک است (Arzani et al., 2014)، که همراه با پس‌چر اراضی زراعی و آیش توانایی تغلیف حدود ۴۰ میلیون واحد دامی را در یک دوره ۷ ماهه دارند. این در حالی است که از تعداد حدود ۱۲۴ میلیون واحد دامی در کشور حدود ۸۳ میلیون واحد دامی وابسته به مرتع هستند که عدم رعایت ظرفیت چرای متناسب با توان مراتع سبب چرای بیش از حد و از بین رفتن مراتع خواهد شد (Eskandari et al., 2008).

استان کرمانشاه دارای ۱ میلیون و ۶۴۰ هزار هکتار مرتع می‌باشد که ۳۳۰ هزار هکتار آن را مراتع تحت

مرتع زمانی محقق می‌شود که تعادل مناسبی بین تولید و بهره‌برداری از آن برقرار باشد، به‌طوری‌که بین مرتع و دام نیز توازن وجود داشته باشد. علاوه بر بهره‌برداری، عواملی نظیر ترسالی، خشکسالی، فرسایش خاک و برنامه‌های اصلاحی تأثیر قابل توجهی بر میزان تولید زیست‌بوم مرتع دارند و نقش مهمی در پایداری این زیست‌بوم‌ها ایفا می‌کنند. به دلیل پویایی و دینامیک بودن زیست‌بوم‌های مرتعی، آنها نسبت به تغییرات عوامل خارجی مانند اقلیم و چرا برای دام واکنش نشان می‌دهند. Heydari و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی عوامل اقتصادی-اجتماعی مؤثر بر مشارکت جوامع محلی در مدیریت پایدار مراتع در مراتع ییلاقی دشت بهار در همدان به این نتیجه دست یافتند که حمایت مالی دولتی، افزایش درآمد سالانه، سن، آگاهی از فعالیت‌های مرتع‌داری از عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران است. Frouhani Zaker و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بین مدیریت پایدار محیط‌زیست با میزان سواد، سابقه بهره‌برداری و سن بهره‌بردار رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. Köhlin و Teklewold (۲۰۱۱) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که پذیرش اقدامات حفاظت و مدیریت پایدار منابع طبیعی در اتیوپی با افزایش تحصیلات، میزان درآمد و افزایش دسترسی به خدمات ترویجی و آموزشی، افزایش می‌یابد. Etsay و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود بیان داشتند که سرمایه‌گذاری در راهبردها و روش‌های مدیریت پایدار زمین از عوامل متعددی از جمله عوامل مرتبط با زمین، عوامل نهادی و اجتماعی-اقتصادی تأثیر می‌پذیرد. Tuolabinejad و Paidar (۲۰۱۸) هم در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که جایگاه خانوادگی، دسترسی بهره‌برداران به خدمات پشتیبانی، تجربه و مدیریت مشارکتی و درآمد خانوار از عوامل تأثیرگذار در روش‌های مدیریت پایدار زمین هستند. تحقیقات انجام‌شده در این مجموعه به بررسی ابعاد مختلف مدیریت مراتع و تأثیرات اجتماعی و اقتصادی آن بر زندگی جوامع محلی می‌پردازند. نتایج این مطالعات به

نظریه تحلیل سیستمی برنامه‌ریزی کرد (Chahuki, 2011)؛ بنابراین این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این سؤال است که مؤلفه‌ها و ابعاد الگوی مدیریت پایدار مراتع تحت چرای دام عشایر استان کرمانشاه کدامند؟

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر که به دنبال طراحی الگوی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه است، پژوهشی بنیادی- کاربردی محسوب می‌شود و از حیث نحوه گردآوری داده‌ها نیز جزء تحقیقات غیرآزمایشی است. به منظور تدوین الگو از روش تحقیق کیفی و به‌طور خاص در ساخت نظریه از روش تئوری بنیادی بهره گرفته شد. به منظور گردآوری داده‌ها، تکنیک مصاحبه‌های نیمه‌ساختار یافته مورد استفاده قرار گرفت. با علم به ماهیت اکتشافی پژوهش، از نظریه داده بنیاد برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. به‌طور کلی تحقیقاتی که از نظریه مبنایی استفاده می‌کنند، مبتنی بر تفکر مفهومی و خلق و تولید نظریه به جای آزمون تجربی نظریه می‌باشند. کلیه داده‌ها بر اساس فرایند کدگذاری مبتنی بر طرح نظام‌دار نظریه داده بنیاد Strauss و Corbin (۲۰۰۶) در راستای خلق الگویی از مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه تحلیل شدند. رکن اساسی در فرآیند تجزیه و تحلیل داده بنیاد، کدگذاری است. کدگذاری در نظریه‌پردازی داده بنیاد نوعی تحلیل محتوا است که در پی یافتن و مفهوم‌سازی موضوعات قابل بحث در میان انبوه داده‌ها است (Danaee Fard, 2005). در مرحله اول (کدگذاری باز) متن مصاحبه‌ها ابتدا پیاده‌سازی و سپس به‌منظور تعیین ایده‌های موجود در آن‌ها بارها مرور و به صورت خطبه‌خط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مفاهیم کلیدی آن استخراج و نام‌گذاری شد. مفاهیم شامل کلمه‌ها و عبارت‌هایی بود که تجربه‌های جامعه مورد مطالعه را از مدیریت پایدار مراتع عشایری منعکس می‌نمود. کدگذاری محوری مرحله دیگری از تحلیل بود که پس از کدگذاری باز انجام شد و فرآیندی است که طی آن، مفاهیم به هم ربط داده می‌شوند. در واقع در

پوشش عشایر تشکیل می‌دهد (IRNA, 2021). بر اساس آمار موجود، حدود ۳ میلیون و ۲۰۰ هزار واحد دامی از این مراتع استفاده می‌کنند. این در حالی است که بر اساس نظر کارشناسی باید به ازای هر یک میلیون هکتار مرتع حدود یک میلیون و ۴۰۰ هزار واحد دامی در مراتع وجود داشته باشد، درحالی‌که مراتع تحت پوشش این عشایر دارای ظرفیت چرای ۲ میلیون واحد دامی هست که نزدیک ۱ میلیون و ۲۰۰ هزار واحد دامی مازاد بر ظرفیت مراتع از مراتع استفاده می‌کنند. در واقع تعداد واحد دامی خیلی بیشتر از ظرفیت مراتع است (Hajarian, 2022). مسئله دیگر نامتناسب بودن پراکنش دام در مراتع استان است که یکی دیگر از چالش‌های پیش روی مدیریت پایدار مراتع به شمار می‌رود. در حال حاضر بنا به گفته مسئولین منابع طبیعی در راستای پایداری مراتع استان، علی‌رغم انجام اقداماتی از جمله قرق مراتع، بذریاشی گیاهان علوفه‌ای به‌صورت هم‌زمان با چرای دام و گردش چوپانان، و همچنین مدیریت چرا و اعلام و کنترل زمان ورود و خروج دام به دامدارن هر منطقه، هر ساله بنا به دلایل متعددی آتش‌سوزی‌های گسترده‌ای رخ می‌دهد و با وجود همه تلاش‌ها و هزینه‌ها، مراتع استان در حال تخریب هستند. علاوه بر این افزایش قیمت نهاده‌های دامی نیز سبب استفاده بی‌رویه از مراتع شده است. در امر مدیریت پایدار مراتع استان کرمانشاه طرح‌های مختلفی همانند "طرح ملی صیانت و توسعه جنگل‌های زاگرس"، "احیاء و بازسازی عرصه منابع طبیعی"، "مقابله با خشکیدگی بلوط"، "مدیریت پایدار مراتع"، "طرح تولید نهال"، "طرح توسعه کشت گیاهان دارویی" ارائه و اجرا شده‌اند که برخی از آن‌ها موفقیت‌آمیز بوده، اما به دلایلی از جمله اعتبار مالی ناکافی در سطح وسیع به اجرا در نیامده‌اند. به‌عبارتی، عدم وجود الگوی مناسب استان که بتوان آن را در سطح وسیع به اجرا گذاشت سبب گردیده مراتع به سمت فقیر شدن پیش بروند. به‌منظور مدیریت صحیح اکوسیستم‌های مرتعی باید تمام عوامل تأثیرگذار بر این اکوسیستم‌ها را شناخت و با دید جامع‌نگر در قالب

تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Maxqda استفاده شده است. جامعه مورد مطالعه متخصصان و کارشناسان نظارت بر دامپروری، حفاظت از محیط‌زیست و مراتع و عشایر بودند. در نظریه داده‌بنیاد حجم نمونه، مشخص نیست، لذا تا دستیابی به اشباع نظری، انتخاب نمونه‌های هدفمند و انجام مصاحبه‌ها ادامه یافتند که در نهایت با ۱۳ نفر از مدیران و کارشناسان با سابقه حوزه منابع طبیعی و کشاورزی استان کرمانشاه مصاحبه نیمه‌ساختار یافته انجام گرفت (جدول ۱). در راستای تأیید روایی و پایایی پژوهش از جمع‌آوری و تحلیل توأم و هم‌زمان داده‌ها بهره گرفته شد. مرور و رفت‌وبرگشت مکرر بین داده‌ها از راه‌های مهم دستیابی به روایی و پایایی است که به‌منظور اصلاح مفاهیم و مقولات انجام گردید. علاوه بر این برای اطمینان از اعتبار نتایج پژوهش، از روش «بررسی اعضاء»<sup>۱</sup> نیز بهره‌گیری شد. در روش بررسی اعضاء، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شده متن مصاحبه‌ها در اختیار جامعه مورد مطالعه قرار گرفت و از آنان خواسته شد تا تأیید کنند که نتایج حاصل مربوط به بیانات آن‌ها در مصاحبه بوده است.

این مرحله مفاهیم در قالب مقوله‌های کلی طبقه‌بندی شدند و ارتباط آن‌ها و به عبارتی مقولات و زیرمقولات شکل گرفتند. در کدگذاری محوری، یکی از مقوله‌های کلی به‌عنوان مقوله اصلی محور فرآیند در حال بررسی و اکتشاف قرار گرفت و سپس مقوله‌های دیگر به‌طور نظری به آن ارتباط داده شد و در واقع ارتباط بین مقولات گسترده‌تر در قالب مدل پارادایمی ایجاد گردید. این مقوله‌ها عبارت‌اند از شرایط علی (علل پدیده اصلی)، راهبردهای کنش و کنش متقابل (راهبردهایی که در پاسخ به پدیده مرکزی صورت می‌گیرد)، زمینه (شرایط خاصی که بر راهبردها تأثیر می‌گذارد)، شرایط مداخله‌گر (شرایط عمومی هستند که بر راهبردها تأثیر می‌گذارند) و پیامدها (نتایج و دستاوردهای حاصل از به کارگیری راهبردها) (Gholipor et al., 2020). در کدگذاری انتخابی، الگوی پژوهش درباره مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه روایت شده است. کدگذاری انتخابی، بیانی از فرآیند پژوهش، نحوه یکپارچه‌سازی مقوله‌ها و پالایش آن‌ها و به دیگر سخن، سیر داستان پژوهش است (Strauss & Corbin, 2006). در این پژوهش به‌منظور

جدول ۱- توصیف جمعیت‌شناختی نمونه‌های تحقیق

Table1- Demographic description of rsearch samples

ردیف	تحصیلات	سمت	سابقه کاری (سال)
1	کارشناسی ارشد	مدیر کل امور عشایر استان کرمانشاه	28
2	کارشناسی ارشد	رئیس اداره بهسازی و تولید امور عشایر استان کرمانشاه	10
3	کارشناسی ارشد	رئیس اداره مطالعات و برنامه‌ریزی امور عشایر استان کرمانشاه	10
4	کارشناسی ارشد	رئیس اداره امور عشایر شهرستان کرمانشاه	28
5	کارشناسی ارشد	رئیس واحد مرتع اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه	23
6	کارشناسی ارشد	کارشناس واحد مرتع اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه	20
7	کارشناسی	کارشناس واحد مرتع اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه	20
8	دانشجوی دکترا	کارشناس ترویج و مشارکت های مردمی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان کرمانشاه	21
9	کارشناسی ارشد	رئیس پاسگاه ویژه حفاظت اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان کرمانشاه	15
10	کارشناسی ارشد	مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه	12
11	دکتری	رئیس اداره ترویج سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه	22
12	کارشناسی ارشد	مدیریت امور اراضی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه	16
13	کارشناسی ارشد	مدیر انجمن سرو سبز دالاهو	7

## نتایج

یک کدهای با نام A, B, Z, C, F و S اختصاص یافت. در پایان این مرحله به نظر رسید که مفاهیم کلیدی شاخص‌های مرتبط با عوامل مؤثر بر مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه را در ابعاد مختلف پوشش داده و نیازی به مراجعه بعدی به نمونه‌های مورد مطالعه وجود ندارد و اشباع نظری نمونه‌ها در این مرحله مورد تأیید قرار گرفت (وجود داده‌های تکراری و عدم دریافت اطلاعات جدید). مرحله دوم کدبندی داده‌ها به کدبندی محوری مرسوم است. در این مرحله، مقوله‌ها به صورت یک شبکه با هم در ارتباط قرار می‌گیرند. در این پژوهش شرایط علی شامل عوامل اقتصادی، عوامل دولتی، عوامل فردی و عوامل فرهنگی می‌باشد. در جدول ۲ شرایط علی گزارش شده است:

کدگذاری باز شامل ۳ مرحله است. مرحله اول، (کدگذاری نکات کلیدی (گزیده متن)) می‌باشد که پژوهش‌گر تمام صحبت‌های مصاحبه‌شوندگان را خطبه‌خط مطالعه کرده و نکاتی که از نظر ایشان مورد تأکید است را در اصطلاح کدگذاری و یا نشانه‌ای بر آن قرار می‌دهد. در این مرحله پس از پیاده‌سازی مصاحبه‌های ضبط شده مطالب به شیوه خطبه‌خط بررسی شدند و به هر جمله جداگانه یک کد داده شد. حاصل این مرحله شناسایی ۲۹ مفهوم کلیدی در زمینه عوامل مؤثر بر مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه بود که بر اساس بیشترین فراوانی پاسخ‌ها، مفاهیم استخراج شده مشخص گردیده است و به هر

جدول ۲- نتایج حاصل از کدگذاری محوری شرایط علی

Table 2-The results of the axial coding of causal conditions

کد مرتبط	فراوانی	مفاهیم	مؤلفه	مقوله اصلی
A1		تبدیل درخت به ذغال		
A2		تأمین سوخت		
A3	6	بالا بودن هزینه‌های زندگی بهره‌وران	عوامل اقتصادی	
A4		شرایط اقتصادی خانوار عشایری		
A5		جبران هزینه‌های دامداری		
A6		تعداد دام		
A7		افزایش قیمت نهاده‌های دامی		
A8	4	عدم ارائه تسهیلات و اعتبارات متناسب با نیاز عشایر	عوامل دولتی	شرایط علی
A9		حذف پارانه‌های بخش دامداری		
A10		عدم ارائه نهاده‌های دامی متناسب با نیاز عشایر		
A11		میزان اطلاع و آگاهی بهره‌برداران		
A12	4	سطح تحصیلات بهره‌برداران	عوامل فردی	
A13		منابع اطاعتی بهره‌برداران		
A14		سن و تجربه بهره‌برداران		
A15	2	آتش‌سوزی‌های عمدی مراتع	عوامل فرهنگی	
A16		رها کردن زباله‌ها و ضایعات ساختمانی در طبیعت		

## شرایط زمینه‌ای

مجموعه خاص شرایطی است که درون آن راهبردهای کنش/واکنش صورت می‌پذیرد. در این پژوهش شرایط زمینه‌ای عوامل مرتبط با مرتع و عوامل مرتبط با بهره‌برداران می‌باشد (جدول ۳).

منظور از زمینه، مجموعه‌ی خاص ویژگی‌های مربوط به پدیده یعنی مکان حوادث یا وقایع مربوط به یک پدیده در طول یک دوره‌ی محدود می‌باشد. زمینه بیانگر

## جدول ۳- نتایج حاصل از کدگذاری محوری شرایط زمینه‌ای

Table 3- The results of the axial coding of contextual conditions

کد مرتبط	فراوانی	مفاهیم	مقوله فرعی	مقوله اصلی
B1		مدت استفاده از مرتع		شرایط زمینه‌ای
B2	3	فصل مناسب بهره‌برداری	عوامل مرتبط با مرتع	
B3		پراکنشی مکانی چرا		
B4		نوع و ترکیب دام		
B5	3	شرایط اقتصادی جامعه	عوامل مرتبط با بهره‌برداران	
B6		تعداد بهره‌برداران		

## مقوله محوری

چهار مقوله نظام آموزش و تحقیقات، مدیریت علمی فنی مراتع و جنگل‌ها، نظام اجرایی و توسعه ظرفیت‌های عشایری به‌عنوان مقوله محوری انتخاب شد (جدول ۴).

مقوله محوری عبارت است از ایده، تصور یا پدیده‌ای که اساس و محور فرآیند می‌باشد. با توجه به موضوع مدیریت پایدار مراتع و ویژگی‌های بررسی شده،

## جدول ۴- نتایج حاصل از کدگذاری محوری مقوله محوری

Table 4 - the results of the axial coding of the axial conditions

کد مرتبط	فراوانی	مفاهیم	مقوله فرعی	مقوله اصلی
C1	2	مراتع احیاء و حفظ فنی اصول آموزش	نظام آموزش و تحقیقات	مقوله محوری
C2		ایجاد برنامه‌ها و پروژه‌های اصلاحی با الگوهای سازگار در مراتع		
C3	3	مدیریت منابع طبیعی مراتع و جنگل‌ها (حفاظت، احیاء، توسعه و بهره‌برداری پایدار)	مدیریت علمی فنی مراتع و جنگل‌ها	
C4		مدیریت علمی فنی منابع آب و خاک و آبخیزداری		
C5		انطباق برنامه‌های طرح‌های مرتعداری با ساختار و دانش بومی		
C6		مدیریت ترویج و مشارکت		
C7	5	تخصیص بودجه و اعتبارات	نظام اجرایی	
C8		مدیریت منابع انسانی		
C9		سازماندهی، برنامه ریزی و انجام قوانین ومقررات.		
C10		نظارت، تمهیدات حفاظتی و جبران خسارت		
C11		ارتقاء همکاری در اجر و پایداری طرح‌های مرتعداری		
C12	4	پروژه‌ها اجرای در بهره برداران نقش و جایگاه معرفی	توسعه ظرفیت‌های عشایری	
C13		استعدادیابی و واگذاری اراضی منابع طبیعی		
C14		مدیریت وصول عوارض قانونی و بهره مالکانه		

## شرایط مداخله‌گر

اشاره می‌کند. آن‌ها محدودکننده یا تسهیل‌گر راهبردهایی هستند که درون یک زمینه خاص قرار دارند. در این پژوهش شرایط مداخله‌گر شامل عوامل طبیعی و عوامل انسانی می‌باشد (جدول ۵).

این شرایط به وضعیت ساختاری مربوط به راهبردهای کنش / واکنش متقابل که مربوط به یک پدیده است،

## جدول ۵- نتایج حاصل از کدگذاری محوری شرایط مداخله‌گر

Table 5- The results of the axial coding of the intervening conditions

مقوله اصلی	مقوله فرعی	مفاهیم	فراوانی	کد مرتبط
شرایط مداخله‌گر	عوامل طبیعی	تعداد سامان‌های عرفی	3	Z1
		خشکسالی و گرمایش زمین		Z2
		کوچک بودن سامانه عرفی		Z3
عوامل انسانی	تغییر کاربری مراتع به زمین کشاورزی	رقابت در بین بهره‌برداران	3	Z4
				Z5

## راهبردها

مسائل و مشکلات و یا شکل‌دهی به یک پدیده انجام می‌گیرند. همچنین راهبردها شامل اقداماتی هستند که برای مدیریت پدیده‌ی محوری توسط فرد، سازمان و یا جامعه انجام می‌گیرد. در این پژوهش راهبردها شامل عوامل بنیادی و نوآوری می‌باشد (جدول ۶).

چگونگی اداره کردن موقعیت‌ها، مسائل و مشکلاتی که شخص در راستای پدیده‌ی محوری با آن مواجه است کنش واکنش یا راهبرد نامیده می‌شود. راهبردها اقدامات سنجیده و هدفمندی هستند که برای حل

## جدول ۶- نتایج حاصل از کدگذاری محوری راهبردها

Table 6- The results of the axial coding of the conditions of the strategies

مقوله اصلی	مقوله فرعی	مفاهیم	فراوانی	کد مرتبط
راهبردها	عوامل بنیادی	تعادل (تعداد) دام و مرتع	5	F1
		انجام صحیح ممیزی مراتع		F2
		اصلاح روش‌های قدیمی		F3
		تسهیل فرآیندهای اداری		F4
		جلوگیری از تصرف مراتع توسط افراد غیرعشایر		F5
نوآوری	کشت ارقام گیاهی مقاوم‌تر نسبت به چرا و خشکسالی	فراهم‌سازی استفاده از انرژی‌های پاک	3	F6
				F7
				F8

## پیامدها

ارتقاء عملکرد مدیریتی و بهبود تولید می‌باشند که در جدول ارائه شده است (جدول ۷).

پیامدها، خروجی‌های حاصل از به کارگیری راهبردها می‌باشند. در این پژوهش پیامدها شامل ایجاد اشتغال،

## جدول ۷- نتایج حاصل از کدگذاری محوری پیامدها

Table 7- The results of the axial coding of the outcome conditions

مقوله اصلی	مقوله فرعی	مفاهیم	فراوانی	کد مرتبط
پیامدها	ایجاد اشتغال	ایجاد فعالیت‌های اقتصادی جانبی	2	S1
		اشتغال‌زایی محصولات سنتی عشایری		S2
	ارتقاء عملکرد مدیریتی	اجرای پروژه‌های طرح مرتعداری	2	S3
		جایگزینی سوخت فسیلی با انرژی پاک		S4
	بهبود تولید	ترویج پرواربندی	2	S5
		حذف دام مازاد		S6

### کدگذاری انتخابی

کدگذاری انتخابی فرآیندی انسجام‌بخش است که طی آن مقوله هسته‌ای یا محوری انتخاب می‌شود. در این مرحله مفاهیم و مقوله‌هایی که در کدگذاری باز استخراج شده بودند به شیوه‌های جدید به یکدیگر می‌پیوندند تا پیوندهای میان یک مقوله و مقوله‌هایی فرعی را بسازند. این امر با بهره‌گیری از یک مدل

پارادایمی شامل شرایط علی، شرایط زمینه‌ای، شرایط مداخله‌گر، مقوله محوری، راهبردها و پیامدها انجام می‌شود. در ادامه به ترتیب شاخص‌ها و مؤلفه‌های مرتبط با هر بخش مدل و در نهایت مدل پارادایمی توسعه عوامل مؤثر مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه ارائه شده است که جزئیات مرتبط با شاخص‌های هر طبقه در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸- حوزه‌ها و طبقه‌های مرتبط با مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه

Table 14- Areas and categories related to the sustainable management of nomadic pastures in Kermanshah province

مقوله فرعی	مؤلفه
شرایط علی	عوامل اقتصادی
	عوامل دولتی
	عوامل فردی
	عوامل فرهنگی
شرایط زمینه‌ای	عوامل مرتبط با مرتع
	عوامل مرتبط با بهره‌برداران
شرایط مداخله‌گر	عوامل طبیعی
	عوامل انسانی
مقوله محوری	نظام آموزش و تحقیقات
	مدیریت علمی فنی مراتع و جنگل‌ها
	نظام اجرایی
راهبردها	توسعه ظرفیت‌های عشایری
	عوامل بنیادی
پیامدها	نوآوری
	ایجاد اشتغال
	ارتقاء عملکرد مدیریتی
	بهبود تولید

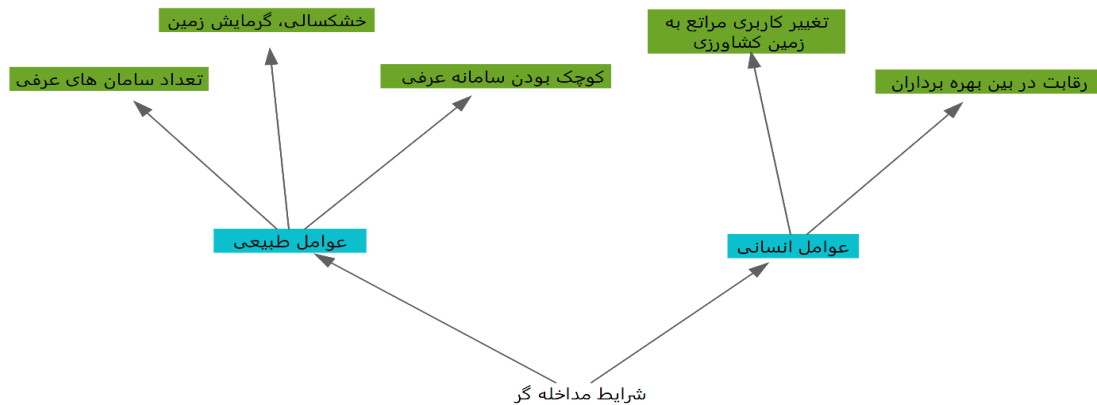
تسهیلات مناسب به عشایر می‌شوند که می‌توانند مشکلات اقتصادی را برای این گروه به وجود آورند. از سوی دیگر، عوامل فردی مانند میزان آگاهی و تحصیلات بهره‌برداران و سن و تجربه آن‌ها تأثیر مستقیم بر تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و اجتماعی دارند. در نهایت، عوامل فرهنگی نظیر آتش‌سوزی‌های عمدی مراتع و رها کردن زباله‌ها در طبیعت نشان‌دهنده رفتارهای اجتماعی و فرهنگی هستند که بر محیط‌زیست تأثیر می‌گذارند.

شکل ۱ به بررسی شرایط علی و عواملی می‌پردازد که بر مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه تأثیر می‌گذارد. این شرایط به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند: عوامل اقتصادی، دولتی، فردی و فرهنگی. عوامل اقتصادی شامل موضوعاتی مانند تبدیل درخت به ذغال و تأمین سوخت هستند که نشان‌دهنده فشار اقتصادی بر بهره‌برداران و نیاز به منابع مالی است. همچنین، وضعیت اقتصادی خانوارهای عشایری و هزینه‌های زندگی نیز در این دسته قرار دارد. عوامل دولتی شامل افزایش قیمت نهاده‌های دامی و عدم ارائه



بهره‌برداران ثبت شده‌اند. این عوامل به وضوح بر فشارهایی که بر مدیریت مراتع وارد می‌شود، تأکید دارند و نشان می‌دهند که فعالیت‌های انسانی می‌توانند به تخریب و کاهش کارایی منابع طبیعی منجر شوند.

نشان‌دهنده چالش‌هایی هستند که ناشی از تغییرات اقلیمی و محدودیت‌های موجود در سیستم‌های عرفی مدیریت مراتع می‌باشند. در طبقه عوامل انسانی، تغییر کاربری زمین کشاورزی و رقابت بین

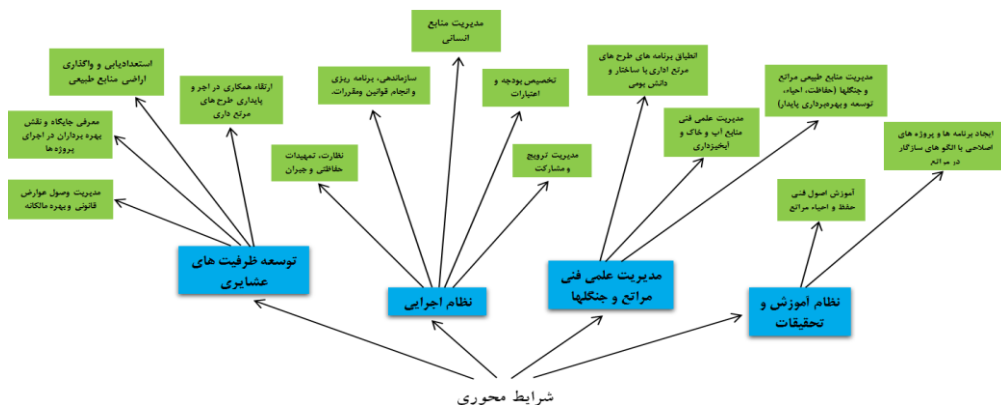


شکل ۳- مؤلفه‌ها و شاخص‌های مرتبط با شرایط مداخله‌گر مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه

Figure 3- Components and indicators related to the intervening conditions of sustainable management of nomadic pastures in Kermanshah province

جنگل‌ها شامل مدیریت منابع طبیعی، حفاظت، احیا، و توسعه پایدار است که بر لزوم استفاده از دانش علمی در مدیریت منابع تأکید دارد. در نظام اجرایی، مدیریت ترویج و مشارکت، تخصیص بودجه و اعتبارات، و نظارت بر اجرای قوانین و مقررات، به اهمیت هماهنگی و سازماندهی در اجرای پروژه‌ها اشاره می‌کند. نهایتاً، توسعه ظرفیت‌های عشایری شامل ارتقاء همکاری در اجرای طرح‌های مرتع‌داری و معرفی جایگاه بهره‌برداران در پروژه‌ها است که بر نقش اساسی جامعه محلی در

در شکل ۴ مقوله محوری مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه نشان داده شده است که از چهار طبقه (مؤلفه) نظام آموزش و تحقیقات، مدیریت علمی فنی مراتع و جنگل‌ها، نظام اجرایی و توسعه ظرفیت‌های عشایری تشکیل شده است. در مقوله نظام آموزش و تحقیقات، مفاهیمی چون آموزش اصول فنی حفظ و احیاء مراتع و ایجاد برنامه‌ها و پروژه‌های اصلاحی با الگوهای سازگار در مراتع کدگذاری شده‌اند که نشان‌دهنده اهمیت آموزش و تحقیقات در بهبود مدیریت مراتع است. مقوله مدیریت علمی فنی مراتع و

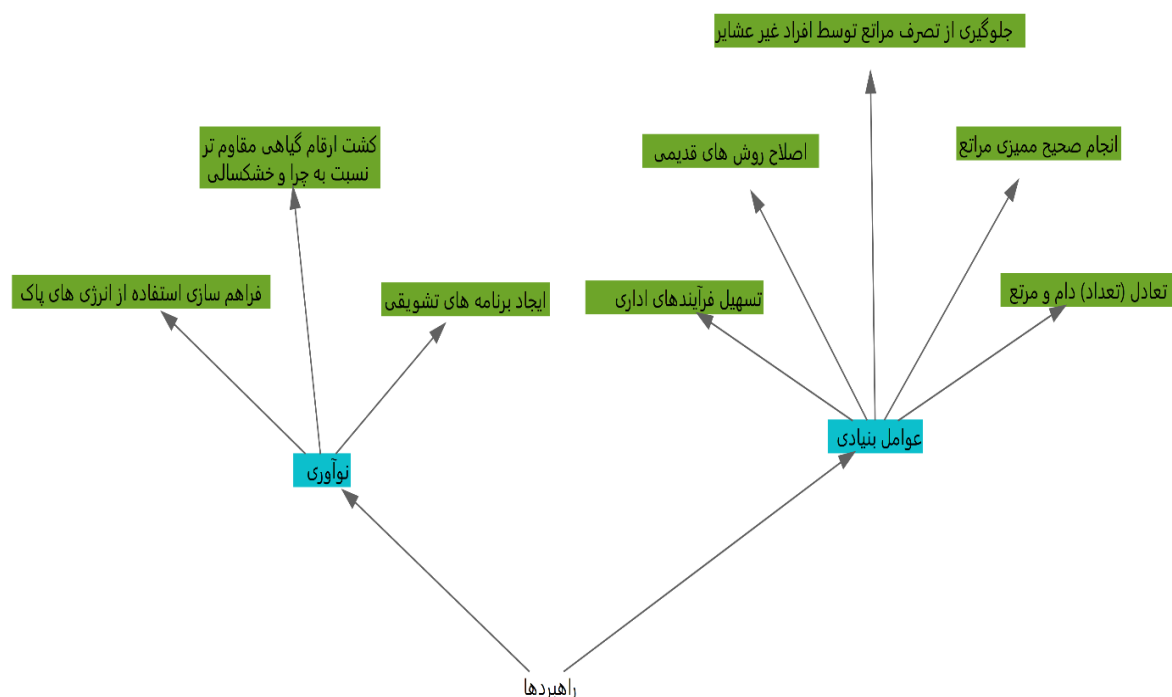


شکل ۴- مؤلفه‌ها و شاخص‌های مرتبط با مقوله محوری مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه

Figure 3- Components and indicators related to the core conditions of sustainable management of nomadic pastures in Kermanshah province

مرتع و تعداد دام‌ها و همچنین اهمیت نظارت و مدیریت صحیح در حفظ و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی است. در مقوله نوآوری، ایجاد برنامه‌های تشویقی، کشت ارقام گیاهی مقاوم‌تر نسبت به چرا و خشکسالی، و فراهم‌سازی استفاده از انرژی‌های پاک ثبت شده‌اند. این ابتکارات به تقویت تاب‌آوری مراتع و بهره‌برداری بهینه از منابع کمک می‌کنند و می‌توانند به تغییرات مثبت در رفتار بهره‌برداران منجر شوند.

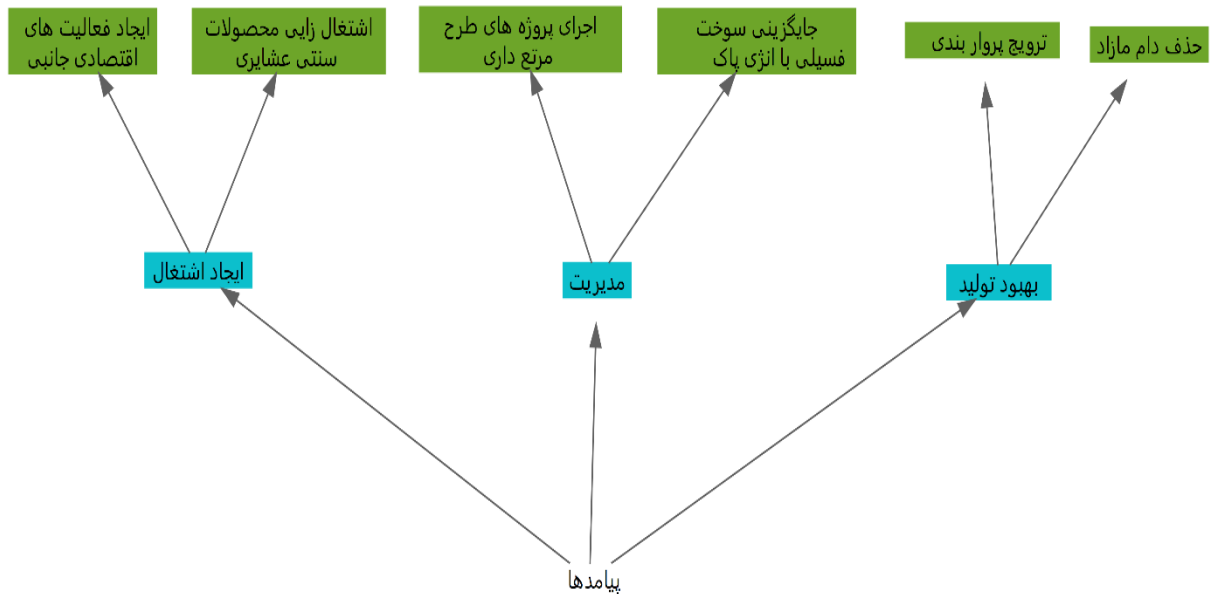
شکل ۵ به راهبردهای مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه که شامل دو طبقه (مؤلفه) عوامل بنیادی و نوآوری است را نشان می‌دهد. در طبقه عوامل بنیادی، مفاهیمی نظیر تعادل دام و مرتع، انجام صحیح مراتع، اصلاح روش‌های قدیمی، تسهیل فرآیندهای اداری، و جلوگیری از تصرف مراتع توسط افراد غیر عشایر نشان‌دهنده ضرورت برقراری تعادل بین ظرفیت‌های



شکل ۵- مؤلفه‌ها و شاخص‌های مرتبط با راهبردهای مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه  
Figure 5\_ Components and indicators related to the strategic conditions of sustainable management of nomadic pastures in Kermanshah province

تنوع منابع درآمدی و ایجاد مشاغل جدید کمک کند. در مقوله ارتقاء عملکرد مدیریتی، اجرای پروژه‌های طرح مرتعداری و جایگزینی سوخت فسیلی با انرژی پاک بیانگر تأثیرات مثبت مدیریت پایدار بر بهبود فرآیندهای مدیریتی و بهینه‌سازی مصرف انرژی هستند. نهایتاً، در مقوله بهبود تولید، ترویج پروراندی و حذف دام مازاد به افزایش کیفیت و کمیت تولیدات دامی و بهبود وضعیت معیشتی بهره‌برداران اشاره دارند.

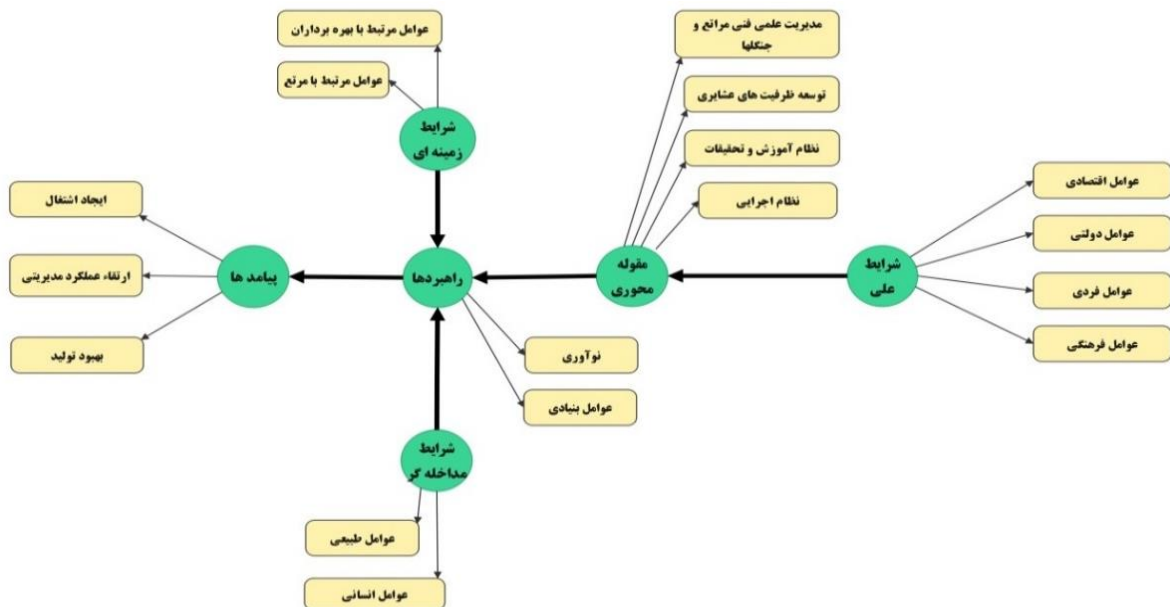
شکل ۶ پیامدهای حاصل از اجرای راهبردهای مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه را نشان می‌دهد که شامل سه طبقه (مؤلفه) ایجاد اشتغال، ارتقاء عملکرد مدیریتی و بهبود تولید می‌باشد که مفاهیم مرتبط با هر طبقه در شکل ۶ نشان داده شده است. در مقوله ایجاد اشتغال، مفاهیمی مانند فعالیت‌های اقتصادی جانبی و اشتغال‌زایی محصولات سنتی عشایری نشان می‌دهند که مدیریت پایدار می‌تواند به



شکل ۶- مؤلفه‌ها و شاخص‌های مرتبط با پیامدهای مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه  
 Figure 6- Components and indicators related to the results of sustainable management of nomadic pastures in Kermanshah province

این الگو، راهبردهای مدیریت پایدار مراتع نه تنها از شرایط مداخله‌گر و زمینه‌ای تأثیر می‌پذیرند، بلکه بر اساس مقوله‌های محوری نیز شکل می‌گیرند و به نتایج خاصی در زمینه مدیریت پایدار منجر می‌شوند.

در مجموع نتایج حاصل از پژوهش در قالب مدل پارادایمی در شکل ۷ نشان داده شده است. مدل پارادایمی این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت پایدار مراتع عشایری به‌طور مستقیم تحت تأثیر شرایط علی مرتبط با معیشت عشایر قرار دارد و این تأثیرات به‌نوبه خود بر تدوین راهبردهای مدیریت پایدار مؤثر است.



شکل ۷- ابعاد و تأثیر عوامل و شاخص‌های مدل پارادایمی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه  
 Figure 7- The dimensions and impact of factors and indicators of the paradigmatic management of nomadic pastures in Kermanshah province

## بحث

نتایج حاصل از پژوهش در قالب مدل پارادایمی در شکل (۷) نشان داده شده است. بر اساس مدل پارادایمی شرایط علی یعنی (عوامل اقتصادی، عوامل دولتی، عوامل فردی و عوامل فرهنگی) به صورت مستقیم بر مقوله محوری مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه مؤثر می‌باشد. همچنین مقوله محوری شامل نظام آموزش، مدیریت علمی فنی مراتع و جنگل‌ها، نظام اجرایی و توسعه ظرفیت‌های عشایری بر روی راهبردها تأثیرگذار است. علاوه بر این، به استناد نتایج و بر اساس مدل پارادایمی شرایط مداخله‌گر شامل عوامل طبیعی و عوامل انسانی و شرایط زمینه‌ای شامل عوامل مرتبط با مرتع و عوامل مرتبط با بهره‌برداران نیز بر راهبردها به صورت مستقیم تأثیرگذار هستند. در نهایت راهبردها شامل عوامل بنیادی و نوآوری روی پیامدهای مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه تأثیر دارد و سبب ایجاد پیامدهای مختلفی شامل ایجاد اشتغال، ارتقاء عملکرد مدیریتی و بهبود تولید برای مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه از جهات مختلف می‌شوند. به استناد نتایج شرایط علی شامل عوامل اقتصادی، عوامل دولتی، عوامل فردی و عوامل فرهنگی بر مقوله محوری مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه تأثیر دارد. در تأیید این نتیجه می‌توان به نتایج پژوهش‌های Frouhani Zaker *et al.*, 2013; Heydari *et al.*, 2014; Ahmadi *et al.*, 2017; Wongkiew *et al.*, 2022; Faryabi *et al.*, 2023; Sultani *et al.*, 2023. Frouhani Zaker و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بین مدیریت پایدار محیط‌زیست با میزان سواد، سابقه بهره‌برداری و سن بهره‌بردار رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. پژوهش Taheri و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان داد که جنبه‌های مختلف معیشت عشایری می‌تواند بر تلاش‌های مدیریتی برای سازمان‌دهی و توسعه زندگی عشایری در منطقه تأثیر بگذارد. Heydari و همکاران

(۲۰۱۴) در بررسی عوامل اقتصادی-اجتماعی مؤثر بر مشارکت جوامع محلی در مدیریت پایدار مراتع در مراتع ییلاقی دشت بهار در همدان به این نتیجه دست یافتند که حمایت مالی دولتی، افزایش درآمد سالانه، سن، آگاهی از فعالیت‌های مرتع‌داری از عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران است. Parkes و همکاران (۲۰۱۰) و Bohnet و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی عوامل مؤثر بر برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی از دیدگاه اجتماعی و اقتصادی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عوامل اجتماعی مانند آگاهی، علاقه و رقابت در بهره‌برداری و عوامل اقتصادی مثل حمایت مالی از طرح و وابستگی اقتصادی به مرتع از عوامل تأثیرگذار بر روی مشارکت در طرح‌ها هستند.

پژوهش Madadzadeh و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که اهمیت دادن به عوامل اجتماعی می‌تواند نقش به‌سزایی در جلب مشارکت مرتعداران در مدیریت مرتع داشته باشد. Teklewold و Köhlin (۲۰۱۱) بیان کردند که پذیرش اقدامات حفاظت و مدیریت پایدار منابع طبیعی در اتیوپی با افزایش تحصیلات، میزان درآمد و افزایش دسترسی به خدمات ترویجی و آموزشی، افزایش یافته است. مطابق با نتایج و مدل پارادایمی مشخص گردید که مقوله محوری یعنی مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه شامل نظام آموزش، مدیریت علمی فنی مراتع و جنگل‌ها، نظام اجرایی و توسعه ظرفیت‌های عشایری بر راهبردها تأثیرگذار است. به استناد این نتیجه، راهبردها می‌بایستی بر اساس وضعیت و ابعاد مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه صورت گیرد. به‌عنوان مثال وضعیت موجود مدیریت وصول عوارض قانونی و بهره‌مالکانه، معرفی جایگاه و نقش بهره‌برداران در اجرای پروژه‌ها، تخصیص بودجه و اعتبارات، آموزش اصول فنی حفظ و احیاء مراتع، و انطباق برنامه‌های طرح‌های مرتع‌داری با ساختار و دانش بومی می‌تواند بر نوع راهبردها تأثیرگذار باشد و در واقع راهبردها باید متناسب با وضعیت موجود تعریف و پیاده‌سازی شوند.

مدیریت پایدار مراتع عشایری استان کرمانشاه تأثیر دارد و سبب ایجاد پیامدهای مختلفی از جمله ایجاد اشتغال، ارتقاء عملکرد مدیریتی و بهبود تولید می‌شوند. Farajolahی و همکاران (۲۰۲۲) نیز بر این باور هستند که ارائه راهبردها و استراتژی‌های مؤثر در مدیریت و پایداری مراتع ضروری بوده و به ثبات و پایداری عرصه‌های مرتعی به‌ویژه در بلندمدت منجر خواهد شد. همچنین با متنوع‌سازی معیشت بهره‌برداران از فشار به مراتع کاسته خواهد شد و تخریب پوشش گیاهی کمتر می‌شود. Salam و همکاران (۲۰۰۵) معتقدند که پایداری مدیریت عرصه‌های طبیعی، ارتباط مستقیم با پایداری اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی جوامع بهره‌بردار دارد. مدیریت پایدار زمین می‌تواند منافع زیادی برای کشاورزان در زمینه تولید، بهبود حاصلخیزی، حفظ ساختار خاک، حفظ منابع آب، افزایش فعالیت و تنوع جانوران خاک به همراه داشته باشد (Teshome *et al.*, 2016). علاوه بر این Bazrafshan و همکاران (۲۰۱۷) به امنیت غذایی خانوارهای روستایی و Desta و همکاران (۲۰۲۱) نیز به جلوگیری از تخریب پوشش زمین و از دست دادن خاک به‌عنوان دستاوردهای حاصل از روش‌های مدیریت زمین اشاره داشتند. همچنین در پژوهشی Karimi و Karami Dehkordi (۲۰۱۵) بیان داشتند که از تقویت دانش و مهارت بهره‌برداران از طریق برنامه‌های ترویج کشاورزی و اعمال سایر سیاست‌ها، در آینده فشار بر منابع طبیعی کاهش یافته و از دیگر سرمایه‌ها و استعدادها نیز بهره‌برداری صحیحی صورت خواهد گرفت.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش بر اهمیت رویکرد مدیریت پایدار منابع طبیعی، به‌ویژه در زمینه مراتع عشایری استان کرمانشاه تأکید دارد و نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی نظام‌مند برای استفاده از منابع محیطی می‌تواند به توسعه پایدار روستاها و بهبود معیشت عشایر منجر شود. دامداری به‌عنوان یکی از ارکان محوری اقتصاد

به‌عنوان مثال شناخت وضعیت مدیریت پایدار مراتع عشایری و شناسایی و احصاء چالش‌ها و نقاط قوت و ضعف منطقه در آن زمینه، بستر خوبی را برای ارائه راهبردهای مناسب و کاربردی فراهم می‌کند.

علاوه بر این به استناد نتایج و بر اساس مدل پارادایمی شرایط مداخله‌گر شامل عوامل طبیعی و عوامل انسانی و شرایط زمینه‌ای شامل عوامل مرتبط با مرتع و عوامل مرتبط با بهره‌برداران نیز بر راهبردها به صورت مستقیم تأثیرگذار هستند. بر اساس این نتیجه می‌توان اذعان داشت در بحث مدیریت پایدار مراتع عشایری، راهبردها بایستی با در نظر گرفتن شرایط مداخله‌گر و شرایط زمینه‌ای منطقه یعنی شرایط بهره‌برداران و عوامل مرتبط با مرتع اتخاذ شوند. در واقع مدیریت پایدار مراتع عشایری مستلزم توجه به عوامل مؤثر بر راهبردها است، چرا که عدم وجود شناخت کافی از پتانسیل‌ها و محدودیت‌های مرتبط با مراتع و در نتیجه اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی نادرست، یکی از موانع اصلی حفاظت و بهره‌برداری پایدار از این منبع ارزشمند است (Narooee *et al.*, 2020).

منظور از شرایط زمینه‌ای، مدت استفاده از مرتع، فصل مناسب بهره‌برداری، پراکنش مکانی دام، نوع و ترکیب دام، شرایط اقتصادی جامعه و تعداد بهره‌برداران است که با نتایج مطالعات (Tuolabinejad & Paidar, 2018; Etsay *et al.*, 2019; Oduniyi, 2022; Fentahun *et al.*, 2023) همراستاست. همچنین در این زمینه Etsay و همکاران (۲۰۱۹) بر این باور هستند که سرمایه‌گذاری در راهبردها و روش‌های مدیریت پایدار زمین از عوامل متعددی از جمله عوامل مرتبط با زمین، عوامل نهادی و اجتماعی - اقتصادی تأثیر می‌پذیرد. Tuolabinejad و Paidar (۲۰۱۸) هم در پژوهش خود بیان داشتند که جایگاه خانوادگی، دسترسی بهره‌برداران به خدمات پشتیبانی، تجربه و مدیریت مشارکتی و درآمد خانوار از عوامل تأثیرگذار در روش‌های مدیریت پایدار زمین هستند.

در نهایت مشخص گردید راهبردها که شامل دو جزء عوامل بنیادی و نوآوری هستند بر روی پیامدهای

این شرایط به راهبردهای مؤثری منجر شود که پیامدهایی همچون اشتغال و بهبود تولید را به همراه داشته باشد. بنابراین، اجرای الگوی پیشنهادی این پژوهش می‌تواند به پایداری مراتع تحت چرای دام عشایر و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی کمک کند، و در نهایت، نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های کلان در سازمان‌های مرتبط با امور عشایر و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مورد استفاده قرار گیرد.

ملی و تأمین غذای انسان، نیازمند مدیریت صحیح و پایدار است. با وجود اجرای طرح‌های مختلف در این حوزه، کمبود اعتبار مالی و عدم وجود الگوی مناسب برای اجرای گسترده این طرح‌ها، سبب فقیر شدن مراتع شده است. پژوهش حاضر با طراحی یک الگوی مدیریت پایدار، امید دارد نه تنها پایداری مراتع را حفظ کند، بلکه به بهره‌وری حداکثری برای عشایر نیز کمک نماید. مدل پارادایمی پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت پایدار مراتع عشایری تحت تأثیر شرایط معیشتی و اکولوژیکی قرار دارد و می‌تواند با توجه به

## References

- Ahmadi, F., Heydari, Q., & Shafiei, F. (2017). social and Economic factors affecting the willingness of rancher to participate in rangelands rehabilitation and restoration projects (Case study: Dehghan Rangelands). *Iran Journal of Range and Desert Research*, 25(1 (70)), 102-115. <https://doi.org/10.22092/ijdr.2018.116497> (In Persian)
- Ajarlu, M., Taheri, M., & Naroui, G. (2018). *Integration of indigenous and modern knowledge for sustainable management of rural rangelands in Sistan (Case study: Hamoon County)*, Master's Thesis, University of Zabol. (In Persian)
- Arzani, H., Aslanpanjah, B., Tavili, A., Zare Chahooki, M.A., & Mohajeri, A.R. (2014). Short-term and Long-term grazing capacity of Pastures (Esfahan). *Journal of Range Management*, 1-20. (In Persian)
- Barghi, H., Shafiei, B., & Hajarian, A. (2019). Assessing the limitations and abilities of using the rangelands of Kermanshah province. *Journal of Range and Watershed Managment*, 72(3), 643-656. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.24323.5.1172> (In Persian)
- Bazrafshan, J., Tuolabi Nejad, M., & Sadeghi, K. (2017). Analysis of the relationship between sustainable land management and crop yield and evaluating its effects on food security of households in rural eastern Miyankooch (Poldokhtar City). *Journal of Rural Research*, 8(2), 346-363. <https://doi.org/10.22059/jrr.2017.62680> (In Persian)
- Bohnet, I.C., Roberts, B., Harding, E., & Haug, K.J. (2011). A typology of grazers to inform a more targeted approach for developing natural resource management policies and agricultural extension - programs. *Journal of Land Use Policy*, 28(3), 629-637. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.12.003>
- Chahuki, M. (2011). *Analysis of environmental factors affecting the sustainability of grassland ecosystems in the country*, conference on sustainable management of rangelands in the country, Department of Agricultural Sciences, Academy of Sciences. (In Persian)
- Danaee Fard, H. (2005). Inductive Approach to Building Theory: Grounded Theory Strategy. *Commercial Strategies*, 3(1), 57-70. (In Persian)
- Desta, G., Tamene, L., Abera, W., Amede, T., & Whitbread, A. (2021). Effects of land management practices and land cover types on soil loss and crop productivity in Ethiopia: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(4), 544-554. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.008>
- Eskandari, N., Alizadeh, A., & Mahdavi, F. (2008). *Rangeland policies in Iran*. Tehran, Publisher: Pune. (In Persian)
- Etsay, H., Negash, T., & Aregay, M. (2019). Factors that influence the implementation of sustainable land management practices by rural households in Tigray region, Ethiopia. *Ecological Processes*, 8(14), 1-

16. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0166-8>  
Fall Solayman, M., Sadeghi, H. A., Haseli, M., & Amiri, F. (2017). Analysis of sustainability strategies of range from organizational view for sustainable development (Case study: South Khorasan Province). *Journal of Rural Research*, 8(1), 38-53. (In Persian)
- Farajolahi, A., Hamidian, M., & Ghasemi Aryan, Y. (2022). Identification of internal-external factors and strategic analysis for sustainable rangeland management of Kalaleh city from the viewpoint of institutional stakeholders using SWOT model. *Journal of Rangeland*, 16(3), 524-539. <https://doi.org/20.1001.1.20080891.1401.1.6.3.9.5> (In Persian)
- Faryabi, N., Arzani, H., Javadi, S.A., Jaafari, M., & Farahpoor, M. (2023). Prioritizing impact of economic, social and ecological factors on sustainable range management (Case study: semi-arid rangelands of Kerman Province, Iran). *Journal of Rangeland Science (JRS)*, 13(3), 1-8. <https://doi.org/10.57647/j.jrs.2023.1303.15.03>
- Fentahun, G., Amsalu, T., & Birhanie, Z. (2023). Farmers' perceptions about the influence of land fragmentation and land quality on sustainable land management in the upper lake Tana Basin: Evidence from Dera District. *Cogent Economics & Finance*, 11(1), 21-37. <https://doi.org/10.1080/23322039.2022.2160132>
- Frotani Zaker, B., Heydari, Q., & Saidi Garaghani, H. (2013). *Investigating the impact of some social factors on sustainable environmental management (case study: Dasht Bahar grasslands of Hamadan city)*, the third environmental planning and management conference, Tehran. (In Persian)
- Gholipor Sooteh, R., Hassan Gholipour Yasoori, T., & Taghavi, A. (2020). A Paradigm Model of Good Corporate Governance Maturity in the Iranian Insurance Industry. *Journal of Iranian Public Administration Studies*, 3(3), 133-159. <https://doi.org/10.22034/jipas.2021.287320.1183> (In Persian)
- Hajarian, A. (2022). Analysis of barriers and challenges of rangeland management (Case Study: rangelands of Kermanshah Province). *Journal of Watershed Management Research*. 13(26), 125-134. <https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.125> (In Persian)
- Heydari, Q., Rastgar, S., & Frotani, B. (2014). Investigating Socio-economic factors affecting the participation of local communities in the sustainable management of rangelands (Case study: Bahar rangelands in Hamadan Province). *Journal of Rangeland*, 1(2), 89-110. (In Persian)
- IANA (Iranian Agriculture News Agency). (2019). *Unveiling the results of the basic registration of the country's nomadic nomadS population*. <http://www.iana.ir/fa/tiny/news-86665> (In Persian)
- IRNA. (2021). 1,570,000 hectares of natural resources in Kermanshah have been surveyed. <https://irna.ir/xjHLM4>
- Karimi, K., & Karami Dehkordi, E. (2015). Rangeland use and necessity of diversification in livelihoods of rural households Case Study: Mahneshan Township. *Journal of Rural Research*, 6(2), 343-368. <https://doi.org/10.22059/jrur.2015.54911> (In Persian)
- Madadzadeh, N., Arzani, H., Javadi, S.A., Movahed Mohammadi, S.H., & Razaghi, M.H. (2021). Management of rangeland in the view of experts (Case study: Reagan Rangelands, Kerman). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(2), 195-207. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.124159> (In Persian)
- Mahdavi, S. kh., Shahraki, M. R., & Sharafatmandrad, M. (2023). The mechanism of knowledge-based behavior of pastoralists for rangeland management: exploitation, restoration and conservation. *Scientific Reports*, 13, 16296 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43590-0>
- Mirdeilami, S.Z., Spehri, A., & Barani, H. (2017). Extraction hierarchical structure of rangeland management system of Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(2), 291-308.

- <https://doi.org/10.22092/ijdr.2017.111886>  
(In Persian)
- Narooee, A., Piri, H,m & Rigi, M. (2020). Assessment of sustainable use of rangelands through multi criteria evaluation method and SWOT analysis (Case study: Taftan rangelands, Khash city). *Journal of Rangeland*, 1(14), 132-146. (In Persian)
- Neghabi, M., Hadi-Nejad, M., & Azami-Rad, M. (2021). *Rangeland Management for Sustainable Development*, Sixth International Conference on Knowledge and Technology in Agricultural Sciences, Natural Resources, and Environment of Iran, Tehran.
- Nomads Affairs Organization of Iran. (2019). *The nomadic population of the country*. <https://www.ashayer.ir/index.aspx?pageid=162>. (In Persian)
- Oduniyi, O.S. (2022). Factors driving the adoption and use extent of sustainable land management practices in South Africa. *Circular Economy and Sustainability*, 2(2), 589-608. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00119-9>
- Parkes, M. W., Morrison, K.E., Bunch, M. J., Hallstrom, 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, *Journal of Global Environmental Change*, 20(4), 693-704. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.06.001>
- Rigi, M., Barani, H., Sepehri, A., Abedi Servestani, A., & Pahlavani, M. (2019). An investigation for Identifying of Drivers, uncertainties, and strategies on livelihood in Range dependents rural communities (case study: Iran's Sistan and Baluchestan turanian pastures). *Geography and Development*, 17(56), 91-118. <https://doi.org/10.22111/gdj.2019.4894>  
(In Persian)
- Roohi-Moghadam, A., & Shahriari, A. (2017). *The Impact of Natural Resource Plans on the Economic and Social Status of Rangeland Users in Rabor County*, Master's Thesis, University of Zabol. (In Persian)
- Salam, M.A., Noguchi, T. and Koike, M. (2005). Factors influencing the Sustained participation in participatory forestry: A case study in central Sal forest in Bangladesh. *Journal of Ecological Economics*, 57(4), 709-723. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.08.007>
- Soultani, H., Mahdavi, S.K., Abdollahzadeh, G., & Souri, M. (2023). Determinants of social sustainability of rangeland management among watershed basin Choghakhor beneficiaries of Chaharmahal and Bakhtiari province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation (JPEC)*, 11 (22), 18-35. (In Persian)
- Strauss, A., & Corbin, J. (2006). *Principles of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Translation: Buik Mohammadi. Tehran: Research Institute of Humanities and Cultural Studies.
- Taheri, M., Poursaeed, A., Eshraghi-Samani, R., & Arayesh, M. B. (2022). Sustainable development: organizing nomads of the Zagros region based on grounded theory model. *GeoJournal*, 87(2), 1285–1298. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10310-4>
- Teklewold, H., & Köhlin, G. (2011). Risk preferences as determinants of soil conservation decisions in Ethiopia. *soil and water conservation*, 66(2),87-96. <https://doi.org/10.2489/jswc.66.2.87>
- Teshome, A., Graaff, J., Ritsema, C., & Kassie, M. (2016). Farmers' perceptions about the influence of land quality, land fragmentation and tenure systems on sustainable land management in the north western Ethiopian highlands. *Land Degradation & Development*, 27(4), 884-898. <https://doi.org/10.1002/ldr.2298>
- Tuolabinejad, M., & Paidar, A. (2018). Analysis correlation livelihood diversification strategies with the management of agricultural lands (rural areas in Poledokhtar County). *Geography and Development*, 16(51), 197-218. <https://doi.org/10.22111/gdj.2018.3852>  
(In Persian)
- Wongkiew, S., Chaikaew, P., Takrattanasaran, N., & Khamkajorn, T. (2022). Evaluation of nutrient characteristics and bacterial community in agricultural soil groups for sustainable land management. *Scientific Reports*, 12(1), 73-88.

- <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09818-1>  
Yousefi, J., Azkia, M., & Kaldi, A. (2017). Sociological analysis of Integrating modern science and indigenous Knowledge (In Participatory Management) In reclamation, preservation, maintenance and operation of Natural resources with post-development approach (Case Study Tribes mamasani of Fars province ). *Urban Management*, 9(34), 31-7. (In Persian)
- Yousefi, M., Esmailpour, Y., Joneidi, H., & Salehi, S. (2021). Designing indicators for assessing the sustainability of nomadic rangelands in Fars province (Cases of study: Robat Sarvestan, Namdan Eqlid, Dogush Khonj). *Journal of Rangeland*, 15 (3), 421-433. <https://doi.org/20.1001.1.20080891.1400.15.3.5.4> (In Persian)
- Zare Chahouki, M., & Sanaei, A. (2017). Analysis of the Environmental and Management Factors Affecting the Sustainability of Rangeland Ecosystems. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2(1), 45-58. <https://doi.org/10.22047/srjasnr.2017.1105>

## Content

**Identifying and determining the role of human and environmental factors in watershed degradation (Case study: Ilam Dam watershed)**

Ehsan Fathi, Mohammadreza Ekhtesasi, Ali Talebi, Jamal Mosaffaie

1-16

**Viability assessment of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, using some hydroclimatic factors**

Marjan Bahlekeh, Seyed Hamidreza Sadeghi

17-35

**Investigation of drought processes under climate change conditions in the future period using IPCC sixth assessment report (Case study: Qaen synoptic station)**

Majid Havangi, Mahdi Amirabadizadeh, Mahdi Dastourani

36-52

**The role of social capital in strengthening local land governance: A case study of microcredit funds in Bakharz rural communities**

Seyyed Amir Hossein Garakani, Mehdi Ghorbani, Ahmad Naderi, Sajjad Amiri, Majid Rahimi

53-68

**Application of digital filtering methods for assessing base flow and groundwater recharge in the Kashkan Watershed**

Ali Haghizadeh, Leila Ghasemi, Hafez Mirzapour

69-86

**Prioritization of suitable sites for subsurface water harvesting using the data envelopment analysis method (Case study: Kalat and Sarakhs border areas)**

Mohammad Rostami Khalaj, Hamze Noor, Ali Bagheriyan Kalat, Mirmasoud Kheirkhah Zarkesh

87-104

**Modeling the distribution of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) in Holilan, Iran, using MaxEnt method**

Behroz Naseri

105-117

**Designing a sustainable management model for nomadic rangelands in Kermanshah Province**

Ayoub Mahmoudi Mastali, Marjan Vahedi, Ali Reza Poursaeed, Hamed Chaharsoughi Amin

118-138



# Integrated Watershed Management

Vol: 5, No: 3. Autumn 2025

Online ISSN	2783-4581
Publisher	<b>Ilam University</b> in association with <b>Iranian Rainwater Catchment Systems Association</b>
Director-in-Charge	<b>Dr. Noredin Rostami</b>
Editor-in-Chief	<b>Dr. Haji Karimi</b>
Editorial Board	<b>Dr. Hosein Arzani</b> (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran) <b>Dr. Gholamreza Zehtabian</b> (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran) <b>Dr. Forood Sharifi</b> (Professor, Research Group of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran) <b>Dr. Haji Karimi</b> (Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Hamid Reza Nassery</b> (Professor, Department of Minerals and Groundwater Resources, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran) <b>Dr. Hassan Pourbabaei</b> (Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran) <b>Dr. Mohsen Rezaei</b> (Professor, Department of Geology, Shiraz University, Faculty of Sciences, Shiraz, Iran) <b>Dr. Zargham Mohammadi</b> (Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran) <b>Dr. Hamid Reza Pourghasemi</b> (Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran) <b>Dr. Abazar Esmali Ouri</b> (Professor, Department of Range & Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran) <b>Dr. Mehdi Heydari</b> (Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran) <b>Dr. Mohsen Tavakoli</b> (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Noredin Rostami</b> (Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Marzban Faramarzi</b> (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Lahcen Benaabidate</b> (Professor, University of Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculty of Sciences and Techniques/ Environment Teaching and Research) <b>Dr. Pedro J.M. Costa</b> (Assistant Professor, Departamento de Ciencias da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal)
Manager	<b>Dr. Mehdi Heydari</b>
Editor (English Version)	<b>Dr. Noredin Rostami</b>
Editor (Persian Version)	<b>Dr. Noredin Rostami; Dr. Reza Omidipour</b>
Cover and Page Designer	<b>Dr. Reza Omidipour</b>



Ilam University



Address: **Deputy of Research and Technology, Ilam University, Pajoohesh 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: 5, No: 3. Autumn 2025

Online ISSN: 2783-4581

**Identifying and determining the role of human and environmental factors in watershed degradation  
(Case study: Ilam Dam watershed)**

Ehsan Fathi, Mohammadreza Ekhtesasi, Ali Talebi, Jamal Mosaffaie

1-16

**Viability assessment of the Shazand Watershed in Markazi Province, Iran, using some hydroclimatic factors**

Marjan Bahlekeh, Seyed Hamidreza Sadeghi

17-35

**Investigation of drought processes under climate change conditions in the future period using IPCC sixth assessment report (Case study: Qaen synoptic station)**

Majid Havangi, Mahdi Amirabadizadeh, Mahdi Dastourani

36-52

**The role of social capital in strengthening local land governance: A case study of microcredit funds in Bakharz rural communities**

Seyyed Amir Hossein Garakani, Mehdi Ghorbani, Ahmad Naderi, Sajjad Amiri, Majid Rahimi

53-68

**Application of digital filtering methods for assessing base flow and groundwater recharge in the Kashkan Watershed**

Ali Haghizadeh, Leila Ghasemi, Hafez Mirzapour

69-86

**Prioritization of suitable sites for subsurface water harvesting using the data envelopment analysis method (Case study: Kalat and Sarakhs border areas)**

Mohammad Rostami Khalaj, Hamze Noor, Ali Bagheriyan Kalat, Mirmasoud Kheirkhah Zarkesh

87-104

**Modeling the distribution of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) in Holilan, Iran, using MaxEnt method**

Behroz Naseri

105-117

**Designing a sustainable management model for nomadic rangelands in Kermanshah Province**

Ayoub Mahmoudi Mastali, Marjan Vahedi, Ali Reza Poursaeed, Hamed Chaharsoughi Amin

118-138