



## مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

سال چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

### جانمایی حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی در نردبان مدیریت آبخیز

سیدحمیدرضا صادقی، فاطمه حسن‌پور، آراسته پای‌فشرده، فاطمه توکلی، فاطمه اسماعیل‌زاده، فاطمه عبدالباقی، نگین رشیدی، سحر موسویان، حامد بیگی، مرجان بهلکه، رضا چمنی

۱-۱۹

### بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه با استفاده از رویکرد میانگین‌گیری بیزین

سیدپدرام نی‌نیوا، علی نجفی نژاد، حبیب نظرنژاد، آرش زراع‌گاریزی

۲۰-۳۴

### تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و طیف فرصت‌های تفرجی در نقشه‌برداری خدمت اکوسیستمی تفرج در استان سمنان

فاطمه محمدیاری، اردوان زرن‌دیان، رویا موسی‌زاده

۳۵-۴۹

### مقایسه کارایی منحنی سنج‌رسوب و مدل‌های یادگیری در برآورد رسوب معلق رودخانه‌های کارستی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌های خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر)

نسرین بیرانوند، علیرضا سپه‌وند، علی حقی‌زاده

۵۰-۶۵

### تحلیل شبکه اجتماعی بهره‌برداران مرتع روستای رباط استان خراسان رضوی

امیررضا حیرانی، مهدی کلاهی، حمید عمران‌یان خراسانی

۶۶-۸۰

### مدل‌سازی مکانی و تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مطالعه موردی: استان بوشهر)

فاطمه رضایی، حمیدرضا پورقاسمی، سید رشید فلاح‌شمسی، رسول خسروی‌شرف‌آبادی، نرگس کریمی‌نژاد

۸۱-۹۶



# مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

۴۵۸۱-۲۷۸۳

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 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 فرامرزی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

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

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

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

دکتر مهدی حیدری

دکتر نورالدین رستمی

دکتر نورالدین رستمی، دکتر رضا امیدپور

دکتر رضا امیدپور

شاپا الکترونیکی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای هیأت تحریریه

مدیر داخلی

ویراستار انگلیسی

ویراستار فارسی

صفحه آرا و طراح جلد

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

تلفکس: ۰۸۴۳۲۲۲۲۷۰۳

صندوق پستی: ۵۱۶-۶۹۳۱۵

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

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



### جانمایی حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی در نردبان مدیریت آبخیز

سیدحمیدرضا صادقی، فاطمه حسن پور، آراسته پای فشرده، فاطمه توکلی، فاطمه اسماعیل زاده، فاطمه عبدالباقی، نگین رشیدی، سحر موسویان، حامد بیگی، مرجان بهلکه، رضا چمنی

۱-۱۹

### بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه با استفاده از رویکرد میانگین گیری بیزین

سیدپدرام نیووا، علی نجفی نژاد، حبیب نظر نژاد، آرش زراع گاریزی

۲۰-۳۴

### تلفیق مدل های تصمیم گیری چند معیاره و طیف فرصت های تفرجی در نقشه برداری خدمت اکوسیستمی تفرج در استان سمنان

فاطمه محمدیاری، اردوان زرندیان، رویا موسی زاده

۳۵-۴۹

### مقایسه کارایی منحنی سنجه رسوب و مدل های یادگیری در برآورد رسوب معلق رودخانه های کارستی (مطالعه موردی: ایستگاه های هیدرومتری حوضه های خرم آباد، الشتر و بیرانشهر)

نسرين بیرانوند، علیرضا سپهوند، علی حقی زاده

۵۰-۶۵

### تحلیل شبکه اجتماعی بهره برداران مرتع روستای رباط استان خراسان رضوی

امیررضا حیرانی، مهدی کلاهی، حمید عمرانیان خراسانی

۶۶-۸۰

### مدل سازی مکانی و تهیه نقشه پتانسیل سیل گیری با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین (مطالعه موردی: استان بوشهر)

فاطمه رضایی، حمیدرضا پورقاسمی، سید رشید فلاح شمسی، رسول خسروی شرف آبادی، نرگس کریمی نژاد

۸۱-۹۶



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 هم‌بندی 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.

#### ۲-۲-۸. نتیجه‌گیری کلی

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

#### ۲-۲-۹. سپاسگزاری

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

#### ۲-۲-۱۰. نحوه ارجاع به منابع در متن

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

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

۲-۲-۴-۱. 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.

#### ۲-۲-۵. مواد و روش‌ها

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

#### ۲-۲-۶. نتایج

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

#### ۲-۲-۷. بحث

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

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 environment*. 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 western 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. حروف چینی مقاله باید در برنامه Word ، در اندازه کاغذ A4 و با رعایت حاشیه ۲/۵ سانتی متر از طرفین باشد و فاصله میان سطرها یک سانتی متر (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. (2021). Spatial and temporal changes of land uses and its relationship with surface temperature in western Iran. *Atmosfera*. <https://doi.org/10.20937/ATM.52985>

د) پایان‌نامه و رساله

نام خانوادگی 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

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

و) کتاب منتشر شده در سازمان‌ها یا نهادها

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

ز) وبگاه اینترنتی

نام خانوادگی نویسنده، نام نویسنده. (در صورت وجود تاریخ انتشار). عنوان مطلب مورد استفاده (به صورت کج نویسی). 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 [iwam.ilam.ac.ir](http://iwam.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.



## Position of the Fakhran Watershed in Iran's South Khorasan Province in the Watershed Management Ladder

Seyed Hamidreza Sadeghi\*, Fatemeh Hasanpour, Arasteh Payfeshoordeh, Fatemeh Tavakoli, Fatemeh Esmail Zadeh, Fatemeh Abdulbaghi, Negin Rashidi, Sahar Mousavian, Hamed Beigi, Marjan Bahlekeh and Reza Chamani

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 January 2024

Revised: 07 February 2024

Accepted: 12 February 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** In the past decades, the development of human needs, climate changes, urbanization, and the rapid development of industry, agriculture, drought, floods, and soil erosion have caused watershed degradation. On the other hand, resources are used to exploit natural resources. An imbalance in the functioning of watersheds causes various hydrological, ecological, economic, and social functions to face various problems and reduce the watershed health and associated functions. A healthy watershed plays an essential role in ensuring the stability of socio-economic systems and improving human well-being. Due to their complexity, they should be restored and controlled through ecological risk assessment to ensure their restoration and effective management. Therefore, comprehensive watershed management is vital to maintaining the health and sustainability of natural resources and watersheds.

**Materials and methods:** Watersheds as socio-ecological systems have management complexities due to the interaction between the components of ecosystems, the types of activities carried out in them, and the dynamics of these systems. Hence, it is necessary to consider different watershed management approaches to conserve watershed services appropriately. Towards that, the Watershed Management Ladder (WML) consists of three main approaches: non-integrated (fragmented) watershed management, integrated watershed management, and comprehensive watershed management. It is being employed to recognize the position of the watershed in the study ladder. In this research, a field visit to the region was first conducted to draw a conceptual model according to the goals, visions, and missions of the stakeholders. The detailed implementation studies of the Fakhran Watershed were then comprehensively reviewed with the primary goal of evaluating the management position of the Fakhran Watershed in the watershed management ladder. In this regard, at first, the management approaches of the ladder were explained. Then, each approach was investigated according to the detailed implementation studies of the study watershed. On the other hand, since each watershed is placed on the rungs of this ladder according to the conditions and research carried out, brief solutions necessary to move to higher rungs in the Fakhran Watershed were also presented.

**Results and Discussion:** The non-integrated watershed management approach, interdisciplinary sub-approaches, and watershed approach have been carried out based on the studies conducted in this watershed. The research results in Iran indicated that non-integrated watershed management approaches, integrated watershed and comprehensive management of watersheds, and the place of watersheds in WML are yet to be evaluated. Therefore, the current research discusses the position of the Fakhran Watershed in Iran's South Khorasan in WML. Nonetheless, the implementation-research approach, including health and sustainability assessment, which is one of the essential aspects of this approach, has to be studied in the watershed. In this regard, in the studies of the Fakhran Watershed, the scale of the watershed has been considered to solve hydrological and ecological problems, and the watershed approach has been taken into account in this watershed. The next step of this approach is the implementation-research step, but the plans are implemented again based on the guidelines that still need to be evaluated and updated. So, success at different levels of management in watersheds requires having appropriate knowledge in explaining processes and dealing with various events in watersheds, which is a departure from the current conditions and evokes health in performance and sustainability in providing watershed services. Accordingly, in addition to indigenous knowledge, modern science is influential in empowering communities and moving toward sustainable development. It can be used in the comprehensive management of watersheds and other knowledge. The Fakhran Watershed is, therefore, placed in the third rung of the non-integrated watershed approach.

**Conclusions:** A significant part of these deficiencies and the need for the placement of the studies of this watershed in the higher rungs of WML are towards the description of public services and similar and common existing syllabi for the developmental and implementation projects. It confirms the necessity of revisiting the description of goal-oriented and problem-oriented services in the developmental and implementation projects. Accordingly, watershed officials and policymakers should use new scientific and community-oriented approaches in line with the changing social, economic, cultural, and managerial needs to take up the watershed management position to the upper rungs of WML.

**Keywords:** Dynamic Management, Local Communities, New Management Approaches, Watershed Health, Watershed Hierarchy.

**Citation:** Sadeghi, S. H., Hasanpour, F., Payfeshoordeh, A., Tavakoli, F., Esmail Zadeh, F., Abdulbaghi, F., Rashidi, N., Mousavian, S., Beigi, H., Bahlekeh, M., & Chamani, R. (2024). Position of the Fakhran Watershed in Iran's South Khorasan Province in the Watershed Management Ladder. *Integrated Watershed Management*, 4(2), 1-19. doi: 10.22034/iwm.2024.2019702.1122

### 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>).



## جانمایی حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی در نردبان مدیریت آبخیز

سیدحمیدرضا صادقی\*، فاطمه حسن پور، آراسته پای فشرده، فاطمه توکلی، فاطمه اسماعیل‌زاده،

فاطمه عبدالباقی، نگین رشیدی، سحر موسویان، حامد بیگی، مرجان بهلکه، رضا چمنی

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

\*نویسنده مسئول: sadeghi@modares.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳)

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** در دهه‌های گذشته گسترش نیازهای انسانی، تغییرات آب‌وهوایی، شهرنشینی و توسعه سریع صنعت، کشاورزی فشرده، خشک‌سالی، سیلاب و فرسایش خاک سبب تخریب آبخیزها شده است. از طرفی دیگر افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از منابع طبیعی در شرایط فعلی آبخیزهای کشور تخریب روزافزون منابع اصلی حیات انسان، یعنی خاک و آب را در پی داشته است. عدم توازن در عملکرد آبخیزها سبب شده است تا کارکردهای مختلف هیدرولوژیک، بوم‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی با مشکل مواجه شده و سلامت و عملکرد متوقع از آبخیزها کاهش یابد. از این رو مدیریت آبخیزها برای حفظ سلامت و پایداری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا رویکردهای جامع مدیریتی در راستای پایداری منابع طبیعی موردنیاز است.

**مواد و روش‌ها:** حوزه‌های آبخیز به‌عنوان سامانه‌های اجتماعی-بوم‌شناسی به دلیل تعامل بین اجزای بوم‌سازگان، انواع فعالیت‌هایی که در آن‌ها انجام می‌شود و پویایی این سامانه‌ها، دارای پیچیدگی‌های مدیریتی هستند به این دلیل لازم است در آن‌ها رویکردهای مختلف مدیریت آبخیز در نظر گرفته شود. در نردبان مدیریت آبخیز سه رویکرد اصلی به نام‌های مدیریت غیریکپارچه (تکه‌تکه) آبخیز، مدیریت یکپارچه آبخیز و مدیریت جامع آبخیز مشخص شده‌اند که هر یک از این رویکردها مطابق با نردبان مدیریت آبخیز دارای مجموعه‌ای از رویکردهای فرعی است که برای دستیابی به اهداف رویکرد اصلی باید پله به پله بررسی شوند و هر حوضه بر اساس رویکردهایی که در مطالعات خود لحاظ کرده‌اند در پله‌های مختلفی از این نردبان قرار می‌گیرند. نتایج پژوهش‌ها در ایران حاکی از آن است که رویکردهای مدیریتی غیریکپارچه آبخیز، یکپارچه آبخیز و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و جایگاه آبخیزها در نردبان مدیریت آبخیز کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. لذا در پژوهش حاضر به جایگاه حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی در نردبان مدیریت آبخیز پرداخته شده است.

**نتایج و بحث:** بر اساس مطالعات انجام‌شده در این حوزه آبخیز از رویکرد مدیریت غیریکپارچه آبخیز، رویکردهای فرعی بین‌رشته‌ای و رویکرد حوزه آبخیز انجام شده لیکن با توجه به اینکه رویکرد اجرایی-پژوهشی از جمله ارزیابی سلامت و پایداری که از موارد مهم این رویکرد به شمار می‌رود در این آبخیز لحاظ نشده است، حوزه آبخیز فخران در پله سوم از رویکرد غیریکپارچه آبخیز قرار دارد.

**نتیجه‌گیری:** طبیعی است بخش عمده‌ای از این کمبودها و قرار نگرفتن مطالعات این آبخیز در پله‌های بالاتر از نردبان مدیریت آبخیز متوجه شرح خدمات عمومی، مشابه و کلی مطالعات تفصیلی-اجرایی موجود است که طبعاً ضرورت بازنگری شرح خدمات هدف‌مدار و مشکل محور در این گونه مطالعات را تأیید می‌کند؛ بنابراین مسئولین و سیاست‌گذاران حوزه آبخیزداری باید همگام با تغییر نیازهای اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و مدیریتی از رویکردهای جدید علمی و جامعه-محور در راستای شناخت مسائل مرتبط با آبخیزها و ارائه راه‌حل‌های متناسب با آن‌ها استفاده نمایند.

**کلمات کلیدی:** جوامع محلی، رویکردهای نوین، سلامت آبخیز، سلسله مراتبی، مدیریت آبخیز، مدیریت پویا

**استناد:** صادقی، س.ح.، حسن پور، ف.، پای‌فشرده، آ.، توکلی، ف.، اسماعیل‌زاده، ف.، عبدالباقی، ف.، رشیدی، ن.، موسویان، س.، بیگی، ح.، بهلکه، م. و چمنی، ر. (۱۴۰۳). جانمایی حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی در نردبان مدیریت آبخیز. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۱-۱۹.

### 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

آبخیز سالم نقش مهمی در تضمین پایداری سامانه‌های اجتماعی-اقتصادی و بهبود رفاه انسان ایفا می‌کند. با توجه به پیچیدگی آن‌ها بایستی از طریق ارزیابی خطر بوم‌شناسی، بازسازی و کنترل شوند تا از احیا و مدیریت مؤثر آن‌ها اطمینان حاصل شود (Moradi & Limaie, 2018; Ervinia et al., 2019; Duan et al., 2022). اما در دهه‌های گذشته گسترش نیازهای انسانی (De Montis, 2017)، تغییرات آب‌وهوایی، شهرنشینی و توسعه سریع صنعت، کشاورزی فشرده (Chamani et al., 2022a)، خشک‌سالی (Chamani et al., 2023a)، سیلاب (Mohammadi Ostadkelayeh et al., 2022)، فرسایش خاک (Chamani et al., 2023b) و فرسایش خاک سبب تخریب آبخیزها شده است (Sadeghi et al., 2023). از طرفی دیگر افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از منابع طبیعی در شرایط فعلی آبخیزهای کشور تخریب روزافزون منابع اصلی حیات انسان، یعنی خاک و آب را در پی داشته است (Noor et al., 2018). عدم توازن در عملکرد آبخیزها سبب شده است تا کارکردهای مختلف هیدرولوژیک، بوم‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی با مشکل مواجه شده و سلامت و عملکرد متوقع از آبخیزها کاهش یابد (Sadeghi et al., 2023). از این رو مدیریت آبخیزها<sup>۱</sup> برای حفظ سلامت و پایداری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Salehpour Jam et al., 2021). لذا متخصصان، پژوهش‌گران و کارشناسان حوزه منابع طبیعی و محیط‌زیست بر لزوم دستیابی به الگوی کاربردی در مدیریت حوزه‌های آبخیز تأکید دارند (Mohseni Farzi et al., 2015; Saravi & Mortezaei Frizhandi, 2022). از آنجاکه پایداری منابع طبیعی مستلزم کارایی رویکردهای جامع مدیریتی است (Sadeghi et

al., 2020b; Rajaei et al., 2021) تاکنون رویکردهای مدیریتی مختلفی چون مدیریت سیستمی<sup>۲</sup>، مدیریت مشارکتی<sup>۳</sup>، مدیریت یکپارچه منابع آب<sup>۴</sup> و مدیریت جامع حوزه آبخیز<sup>۵</sup> با توجه به تجربه‌های بین‌المللی پیشنهاد شده است (Esmali & Abdollahi, 2011).

در برخی از پژوهش‌های انجام‌شده نقش جنبه‌های مختلف مدیریتی از جمله مدیریت یکپارچه یا مدیریت جامع حوزه آبخیز و مشارکت جوامع محلی مورد ارزیابی قرار گرفته است. به‌طور نمونه Van Huijstee و Glasbergen (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای ضمن توجه به نقش دولت در مدیریت حوزه‌های آبخیز، بر مشارکت سازمان‌های مردم‌نهاد، بخش خصوصی و جوامع محلی تأکید کرده است. همچنین بیان کردند در مدیریت حوزه‌های آبخیز باید از شروع فرآیند، مشارکت گسترده مردم و سازمان‌های مردم‌نهاد و بخش خصوصی را مدنظر قرار دهد. نتایج پژوهش Al-Busaidi (۲۰۱۲) در منطقه Al-Jabal Al-Akhdar عمان حاکی از آن است که در حال حاضر عوامل بسیاری از جمله تنوع معیشت، افزایش آگاهی جامعه محلی و تعهد دولت برای حفاظت از آبخیزها برای بهبود پیاده‌سازی مدیریت پایدار آبخیز نیاز است. Bagdi و Kuroth (۲۰۱۴) نیز در پژوهشی اقدام به بررسی مشارکت مردم و جوامع محلی در برنامه‌های مدیریت آبخیز در منطقه Vidarbha واقع در ایالت Maharashtra هند کردند. یافته‌های این مطالعه مؤید آن است که میزان مشارکت مردم در مراحل برنامه‌ریزی و اجرای برنامه حوزه آبخیز در حد متوسط بوده است. Darabi و همکاران (۲۰۱۸) نیز به ارزیابی اثرات اجرای طرح مدیریت جامع منابع طبیعی و آبخیزداری حوزه آبخیز غرب شیراز بر محیط‌زیست

4. Integrated Water Resources Management (IWRM)  
5. Integrated Watershed Management (IWM)

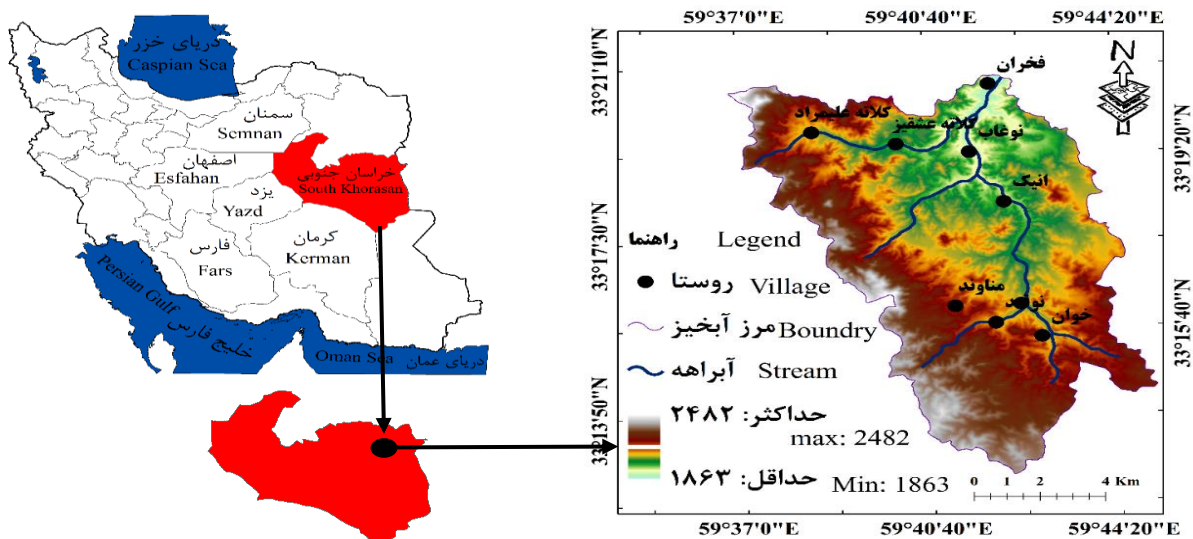
1. Watershed Management  
2. System Management  
3. Participatory Management

آبخیز فخران با رویکرد مدیریت جامع بیان داشتند هیچ‌کدام از اصول شش‌گانه مدیریت جامع به‌درستی در مطالعات لحاظ نشده است. همان‌طور که نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد بسیاری از پژوهش‌ها بر نقش مدیریت حوزة‌های آبخیز تأکید داشته‌اند اما تعیین جایگاه فعلی آبخیزها در سلسله مدیریت آبخیزها مورد ارزیابی قرار نگرفته است. به‌عبارتی‌دیگر به‌طور جزئی نقش برخی از متغیرها در مدیریت آبخیزها بررسی شده است. لذا در این پژوهش سعی شده است ابتدا جایگاه آبخیز فخران خراسان جنوبی در سلسله مدیریت آبخیزها یا نردبان مدیریت آبخیز<sup>۱</sup> تعیین و سپس راهکارهای مقتضی برای بهبود جایگاه و بهبود شرایط آبخیز فخران ارائه شود. طرح و ترویج چنین رویکردهایی می‌تواند اشاعه فرآیند خودارزیابی را برای پژوهشگران حوزة آب و خاک کشور فراهم آورد.

### مواد و روش‌ها

حوزة آبخیز فخران (حدواسط ۵۹ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۵۹ دقیقه و ۴۴ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی). با مساحت ۱۰۵۰۶/۴ هکتار، دامنه ارتفاعی ۱۸۶۳ و ۲۴۸۲ متر و متوسط بارندگی سالیانه ۲۱۳/۱ میلی‌متر در شهرستان درمیان در استان خراسان جنوبی واقع شده است. از روستاهای موجود در حوزة آبخیز فخران به روستاهای نوقند، ماسنان و خوان اشاره کرد. روستای فخران نیز در خروجی و شمال آبخیز واقع شده است (Sadeghi *et al.*, 2023). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی و ایران را نشان می‌دهد.

منطقه از دیدگاه بهره‌برداران پرداختند. یافته‌های پژوهش نشان داد که از دیدگاه بهره‌برداران، طرح مذکور بر شاخص‌های محیط‌زیستی از جمله کیفیت خاک زراعی، آب و پوشش گیاهی منطقه تأثیرگذار است. هم‌چنین Teka و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی توانایی مدیریت یکپارچه آبخیز در مهار فرسایش خاک در شمال اتیوپی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد مدیریت یکپارچه و جامع حوزة آبخیز علاوه بر بهبود وضعیت مالی خانواده‌ها سبب افزایش رشد پوشش گیاهی و کاهش فرسایش خاک خواهد شد. Hardy (۲۰۲۲) نیز نقش مشارکت جوامع محلی از جمله تقابل بین فرهنگ محلی و راهبردهای برنامه‌ریزی و قوانین سازمانی تأثیرگذار در مدیریت حوزة آبخیز Cuyahoga را مورد ارزیابی قرار داده و بیان داشت که منابع مالی، فنی و حمایت‌های سیاسی نقش غیرقابل‌انکاری در مدیریت آبخیز دارد. هم‌چنین سازمان‌های مرتبط با دولت و سازمان‌های ارائه‌دهنده منابع، تأثیر بسزایی در این زمینه بر عهده دارند. هم‌چنین Thapa و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی مرتبط با مشارکت یکپارچه مدیریت حوزة آبخیز در کاهش خطر بلایا و توسعه جامعه در نپال بیان داشتند اجرای مدیریت یکپارچه بدون محدودیت‌های مؤسسات سبب احیا جنگل، بهبود پوشش جنگلی و هم‌چنین بهبود معیشت و افزایش مشارکت زنان در جامعه شده است. Wang و همکاران (۲۰۲۲) نیز با ارزیابی نقش مدیریت حوزة‌های آبخیز بر خدمات بوم‌سازگان در سه حوزة آبخیز در چین بیان داشتند تغییرات در دوره ۲۰ ساله در آبخیزها سبب بهبود تأمین و تنظیم خدمات و کاهش خدمات پشتیبانی از سوی حوزة‌های آبخیز شده است. در حوزة آبخیز فخران خراسان جنوبی نیز Sadeghi و همکاران (۲۰۲۳) با بازخوانی مطالعات تفصیلی-اجرائی حوزة

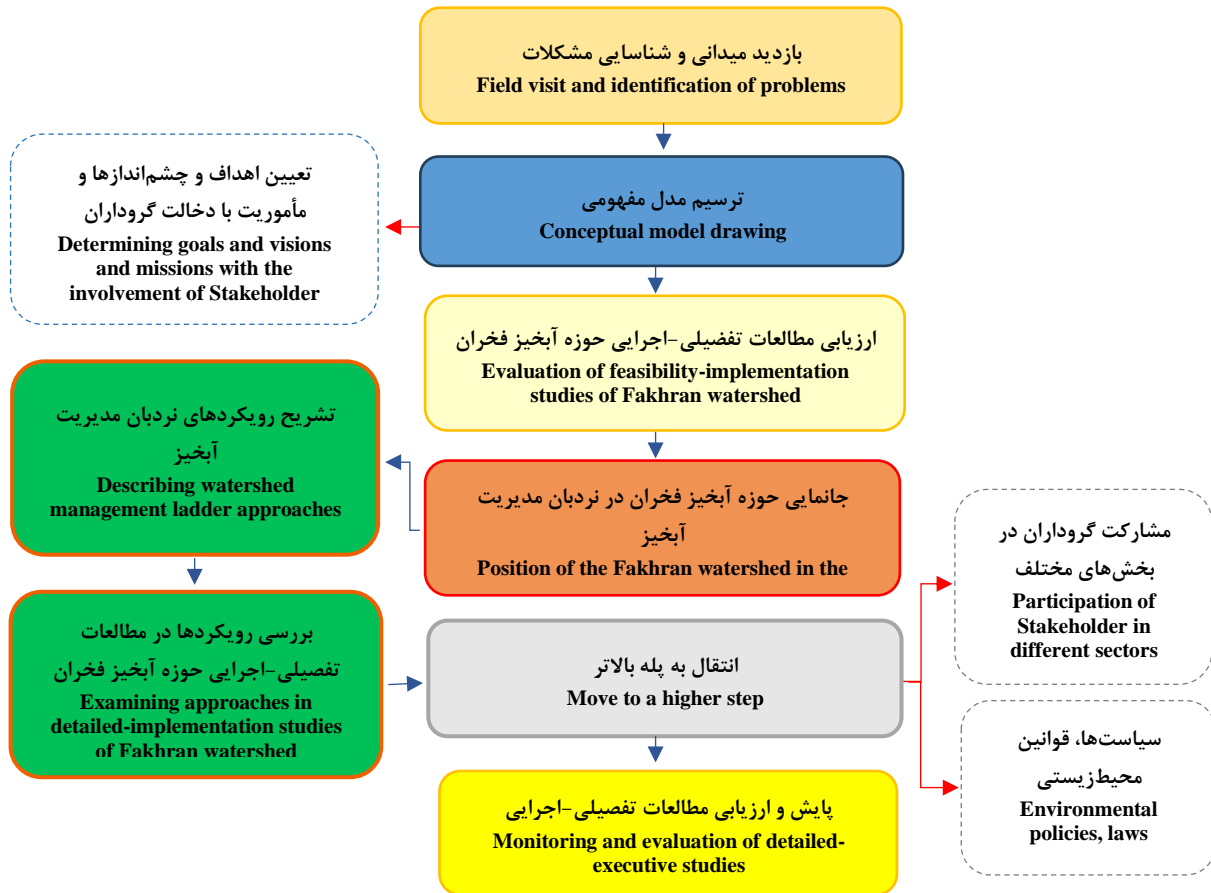


شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه آبخیز فخران در استان خراسان جنوبی

Figure 1- Location of Fakhran watershed in South Khorasan Province, Iran

رویکردهای مدیریتی در نردبان مدیریت آبخیز حوزه‌های آبخیز به‌عنوان سامانه‌های اجتماعی-بوم‌شناسی به دلیل تعامل بین اجزای بوم‌سازگان، انواع فعالیت‌هایی که در آن‌ها انجام می‌شود و پویایی این سامانه‌ها، دارای پیچیدگی‌های مدیریتی مستلزم رویکردهای مختلف مدیریت آبخیز هستند. به این دلیل در نردبان مدیریت آبخیز سه رویکرد اصلی به نام‌های مدیریت غیریکپارچه (تکه‌تکه) آبخیز<sup>۱</sup>، مدیریت یکپارچه آبخیز<sup>۲</sup> و مدیریت جامع آبخیز<sup>۳</sup> مشخص شده‌اند. هر یک از این رویکردها در نردبان مدیریت آبخیز دارای مجموعه‌ای از رویکردهای فرعی است که برای دستیابی به اهداف رویکرد اصلی باید پله به پله به صورت مندرج در شکل ۳ بررسی شوند (Salehpour & Mosaffaie, 2023).

از آنجا که مدیریت جامع آبخیز به‌عنوان رویکردی جدید در راستای حل مشکلات حوزه‌های آبخیز و به دنبال ارائه راهبردهای مناسب برای بهبود وضعیت آبخیزهاست؛ در این پژوهش ابتدا برای ترسیم مدل مفهومی با توجه به اهداف و چشم‌اندازها و مأموریت‌های گروه‌داران، بازدید میدانی از منطقه صورت گرفت. سپس مطالعات تفصیلی-اجرایی حوزه آبخیز فخران به‌صورت جامع و باهدف اصلی ارزیابی موقعیت مدیریت حوزه آبخیز فخران در نردبان مدیریت آبخیز بررسی شد. در این راستا در ابتدا به تشریح رویکردهای مدیریتی نردبان و سپس به بررسی هر یک از رویکردها طبق مطالعات تفصیلی-اجرایی آبخیز فخران پرداخته شد. از طرفی از آنجایی که هر حوزه آبخیز با توجه به شرایط و پژوهش‌های انجام‌شده در آن در پله‌هایی از این نردبان قرار می‌گیرد، راه‌کارهای اجمالی لازم برای انتقال به پله بالاتر در آبخیز مزبور نیز ارائه شد. نمودار جریان پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲ - نمودار جریان پژوهش مبتنی بر الگوی مفهومی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز  
 Figure 2- Research flowchart based on the conceptual model of integrated watershed management

### رویکرد مدیریت غیریکپارچه آبخیز

#### زیررویکرد بین‌رشته‌ای

رویکرد بین‌رشته‌ای یکی از رویکردهای اولیه پذیرفته‌شده توسط متخصصان بر اساس کاربرد علوم مختلف در آبخیزداری است. این رویکرد نشان‌دهنده تنوع و چگونگی تعامل بین رشته‌ها و موضوعات مختلف است و به توسعه علمی و پیشرفت در حل مسائل مشترک کمک می‌کند. بر این اساس، حضور یک گروه تخصصی مختلف شامل مهندسان، جغرافی‌دانان، زیست‌شناسان، جامعه‌شناسان و اقتصاددانان برای مطالعات مدیریت آبخیز ضروری است. از آنجایی که مطالعه مدیریت حوزه‌های آبخیز هم از نظر ماهیت بین‌رشته‌ای خود و هم از نظر کاربرد در مدیریت محیط مطرح بوده است نیازمند برقراری ارتباط با متخصصین مختلف است. هم‌چنین پژوهش‌گران برای

حفظ ماهیت علم و انتقال آن به‌عنوان امانتی باارزش برای نسل‌های بعدی الزام به استفاده از این رویکرد می‌باشند. در این روش با ورود تفکر بین‌رشته‌ای چهره‌موجهی به خود می‌گیرد و بهترین بهانه را برای نادیده گرفتن مرزهای دانش و استفاده از هر فرصتی برای دخالت غیرحرفه‌ای در انجام پروژه‌ها یا پژوهش‌های کاربردی و استفاده از فرصت‌های شغلی نامأنوس با رشته تخصصی فراهم می‌کند (Jabbari, 2021)؛ بنابراین پیچیدگی روابط انسانی و اعمال سیاست‌ها در سطوح مختلف جهانی تا محلی و ایجاد حجم عظیمی از مشکلات محیط‌زیستی، موضوعات جدید بین‌رشته‌ای را شکل می‌دهند که پژوهش‌گران منابع طبیعی را به دنبال این موضوع هدایت می‌کنند که چگونه جنبه‌های مختلف علوم طبیعی، انسانی و فنی را به هم پیوند دهند تا توجیهی بر حل

ما از وضعیت گذشته، حال و آینده سیمای سرزمین در مقابله با تهدیدهای طبیعی و یا انسانی افزایش می‌یابد (Hazbavi, 2018). از آنجایی که اجزای بوم‌سازگان موجود در یک آبخیز در ارتباط تنگاتنگ با هم هستند، بنابراین هرگونه تصمیم‌گیری در یک بخش از اجزای آبخیز بر بخش‌های دیگر و در عملکرد نهایی آن اثر خواهد گذاشت (Mabuza, 2019). لذا برای توسعه جامعه انسانی باید بوم‌سازگان امن و پایدار ایجاد نمود (Wen & Hou, 2021).

مسائل جهانی، منطقه‌ای و محلی و در نتیجه نسل‌های کنونی و آینده باشد (Beheshti & Nasrollahi, 2016).

### زیررویکرد حوزه آبخیز

تخریب منابع طبیعی، احتمال کمبود و بحران منابع موردنیاز برای رفاه انسان را افزایش داده است. همین امر، پژوهش‌گران و سیاست‌گذاران را وادار به استفاده از رویکردهای ارزیابی آبخیز در ابعاد مختلف آن و نیز حفاظت و تخصیص منابع متناسب کرده است. پژوهش‌گران اعتقاد دارند که به‌وسیله ارزیابی آبخیز درک



شکل ۳ - نمودار الگوی مدیریت حوزه‌های آبخیز مبتنی بر نردبان مدیریت آبخیز شامل رویکردهای اصلی (چپ) و رویکردهای فرعی (راست) (Salehpour Jam & Mosaffaie, 2023).

Figure 3- Chart of watershed management model based on watershed ladder consists of main approaches (Left) and sub-approaches (right) (Salehpour Jam & Mosaffaie, 2023).

محیط‌زیستی در زمینه تأمین نیازهای طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Salehpour Jam & Mosaffaie, 2023). هم‌چنین با استفاده از اطلاعات دقیق و جامع این رویکرد مدیران می‌توانند مشکلات را شناسایی کرده و اقدامات مناسب را برای مدیریت آبخیزها انتخاب کنند. این همکاری و مشارکت می‌تواند بهبود کارایی استفاده از آب، حفاظت از منابع آب، حفظ

قابل‌ذکر است در این رویکرد، حوزه آبخیز به‌عنوان بهترین واحد حاکمیت محیطی معرفی و مورد استفاده قرار می‌گیرد. رویکرد حوزه آبخیز یک چارچوب هماهنگ‌کننده است که نیازمند تلاش بخش‌های دولتی و خصوصی برای رسیدگی به مشکلات هیدرولوژیکی در مناطق جغرافیایی تعریف شده است و می‌تواند به‌عنوان بهترین واحد ناظر بر مسائل

سلامت و پایداری حوزة آبخیز ( Sadeghi *et al.*, 2022)، ارزیابی پتانسیل خطرات حوزة آبخیز (Ghaleno *et al.*, 2020)، شناسایی پاسخ‌های مدیریتی برای بهبود سلامت و پایداری حوزة آبخیز ( Duan *et al.*, 2021؛ Salehpour Jam *et al.*, 2021)، ارزیابی اقدامات بهبود سلامت حوزة آبخیز ( Salehpour Jam *et al.*, 2021)، ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های توسعه‌ای ( Tarabon *et al.*, 2019) و ارزیابی اثربخشی مدیریت آبخیز ( Gao *et al.*, 2017) است.

### رویکرد مدیریت یکپارچه آبخیز

#### زیررویکرد یکپارچه آبخیز

یکپارچگی در حوزة‌های آبخیز، مستلزم مدیریت سازمان یافته و تنظیم مجموعه‌ای از فعالیت‌ها بر پایه شناخت قابلیت و توانایی‌های درونی طبیعی (Ramesht *et al.*, 2010) و نیز بهره‌برداری بهینه از ظرفیت‌ها و امکانات عمل‌کننده بیرونی (سیاست‌ها و اهرم‌های اجرایی) و ایجاد ارتباط متقابل و تعادل عملکردی بین آن‌ها است (Pahl-Wost, 2007). هم‌چنین مدیریت یکپارچه حوزة آبخیز یک رویکرد برنامه‌ریزی محیط‌زیستی است که پایداری منابع حوزة آبخیز را از طریق مشارکت سهام‌داران و آبخیزنشینان دولتی و غیردولتی را در نظر می‌گیرد. در مدیریت یکپارچه تلاش گروه‌داران<sup>1</sup> ایجاد تعادل مناسب بین اجزای بوم‌سازگان و ارتقا وضعیت اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی آبخیز است، از این‌رو مدیریت یکپارچه آبخیز شرایطی فراهم می‌سازد که ضمن تأمین منافع جامعه، تأثیر منفی بر منابع طبیعی به کمینه برسد. به‌عبارت‌دیگر مدیریت یکپارچه حوزة‌های آبخیز فرایندی آگاهانه است که جنبه‌های مختلف بهره‌برداری از حوزة آبخیز (زیست‌فیزیکی، اجتماعی-سیاسی و اقتصادی) در یک سامانه مدیریت پایدار به‌منظور دستیابی به اهداف بهره‌برداران (امنیت غذایی، سودآوری و کاهش

تنوع زیستی، مدیریت سیلاب و خشک‌سالی، بهبود کیفیت آب و ترویج فرهنگ حفاظت از منابع آب را تسهیل کند (EPA, 1996).

### زیررویکرد اجرایی-پژوهشی

آبخیزهای ایران به سبب برخورداری از عوامل بسیار پویای محیط‌زیستی، انسانی، هیدرولوژی و نیز بوم‌شناسی در اکثر موارد از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردار هستند. باین‌وجود می‌توان تا حدود بسیار زیادی با استفاده از رویکردهای ارائه‌شده می‌توان به وضعیت آن‌ها پی برد و میزان درک و شناخت کارشناسان، مدیران و نیز سیاست‌گذاران در امر برنامه‌ریزی و مدیریت آبخیز را در سطح مناسب و به‌طور درست افزایش داد. به‌طور مثال با استفاده از نتایج حاصل از پژوهش‌هایی از جمله ارزیابی سلامت آبخیزهای کشور به جرات می‌توان گفت که تخصیص بودجه، استفاده از منابع موجود، پیش‌بینی منابع نوین جایگزین و اولویت‌بندی مناطق با درجات متفاوت از سلامت میسر می‌شود (Hazbavi *et al.*, 2020). هم‌چنین ارزیابی سلامت آبخیز یک فرآیند و ابزار علمی و عملی برای تعیین شرایط یک آبخیز نسبت به شرایط یا وضعیت بهینه مطرح شده است (Hazbavi, 2018). این نوع از ارزیابی مبتنی بر پایش داده‌هاست و برای ایجاد یا ارزیابی مجدد مدیریت زمین و یا تصمیمات قانونی و گزارش آن تصمیمات به عموم مردم انجام می‌شود (Ahn & Kim, 2019)؛ بنابراین می‌توان با الگو گرفتن از رویکردهای موفقیت‌آمیز ارزیابی سلامت آبخیز نسبت به ایجاد آبخیزهای سالم اقدام کرد ( Hazbavi *et al.*, 2020). با توجه به دلایل اشاره‌شده اجرای این رویکرد برای تحقق اهداف رویکردهای دیگر آبخیز ضروری است و مهم‌ترین جنبه‌های رویکرد پژوهشی عبارت از ارزیابی

آبخیزداری می‌تواند موجب تمرکززدایی قدرت تصمیم‌گیری شده و اعتماد و جلب مشارکت فعال مردم در مراحل ذکر شده را به دنبال داشته باشد (Mosaffaei *et al.*, 2020).

### زیررویکرد غیرمتمرکز

در این راستا تمرکززدایی در مدیریت منابع طبیعی علی‌رغم برخورداری از پیچیدگی خاص خود، می‌تواند زمینه بهبود مدیریت در آبخیزها را فراهم کند. اثربخشی تمرکززدایی در چارچوبی متشکل از عناصر اساسی شامل مردم، مسئولین و قدرت‌ها و مسئولیت‌پذیری آن‌ها تشریح می‌شود. بر این اساس نقش دولت‌ها و جوامع محلی در امر مدیریت آبخیزها در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته است. در همین راستا در سال‌های اخیر، ساختار سازمانی برای مدیریت منابع طبیعی در سطح قابل‌توجهی در کشورهای مختلف بازسازی شده است. ظهور ساختار نهادی جدید و غیرمتمرکز و بر اساس تحقق یکپارچه‌سازی مسئولین و جوامع محلی می‌تواند در چارچوب راه‌حل‌های شکست‌خورده متمرکز و بازار آزاد مورد توجه قرار گیرد (Newaz & Rahman, 2022). حال، عدم توجه به مشارکت جوامع محلی در اجرای بسیاری از پروژه‌های منابع طبیعی و آبخیزداری کشور سبب انزوای گروه‌داران و حافظان اصلی منابع طبیعی و عدم برخورداری از پتانسیل‌های فکری، اجرایی و دانش بومی آن‌ها طی مراحل مختلف مطالعاتی و اجرایی طرح شده است (Salehpour Jam & Mosaffaie, 2021). این مسئله هم‌چنین، کاهش انگیزه آتی جوامع آبخیزنشین را در مراحل پس از اجرای طرح، در خصوص حفاظت از پروژه‌ها به دنبال داشته است. تجربه

خطرپذیری) با در نظر داشتن اهداف جامعه از جمله کاهش فقر، رفاه نسل‌های آینده و حفاظت از محیط‌زیست را تلفیق می‌کند (Prizadi *et al.*, 2017).

### زیررویکرد مشارکتی

موضوع مشارکت مردمی در منابع طبیعی از کنفرانس جهانی محیط و توسعه در سال ۱۹۸۷ بیشتر مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفت و سپس در کنفرانس ریودوژانیرو برزیل در سال ۱۹۹۲ مورد تأکید قرار گرفت و در بند ۲۱ فصل ۲۳ این موضوع یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار مطرح شد (Bagherian *et al.*, 2017). منظور از مشارکت گروهی، مشارکت انواع گروه‌داران دولتی و غیردولتی در مدیریت جامع آبخیز به صورت کاملاً منصفانه است. به عبارت دیگر، این رویکرد به طور منطقی منافع همه شرکا را بر اساس خرد گروهی و اصول توسعه پایدار در نظر می‌گیرد (Salehpour Jam & Mosaffaie, 2023). تعاریف متعددی در زمینه مشارکت جوامع محلی در برنامه‌های توسعه‌ای وجود دارد. باین‌حال، می‌توان مشارکت را به‌عنوان فرایند دخالت دادن مردم به منظور تأثیرگذاری آن‌ها بر نتایج و دستاوردهای طرح‌ها و برنامه‌های مختلف بیان کرد. در این حالت، سه سطح مشارکت در تدوین و طراحی، اجرا و پیاده‌سازی برنامه‌ها و درنهایت مشارکت در ارزشیابی و بررسی نتایج و پیامدهای حاصل از اجرای یک طرح مدنظر است (Rezaei *et al.*, 2012). در همین راستا دست‌یافت پروژه‌های چندمنظوره آبخیزداری و در نظر گرفتن منافع آبخیزنشینان و نیز مشارکت دادن جوامع محلی در مراحل مختلف پایش، مطالعات، نیازسنجی، اجرا و نیز نگهداری پروژه‌های

آن‌ها بر یکدیگر، مفهوم جدیدی به نام رویکرد پیوندی یا رویکرد هم‌بست مطرح شده است. رویکرد هم‌بست آب-غذا-انرژی<sup>۱</sup> برای اولین بار در اجلاس بُن در سال ۲۰۱۱ در جمع جهانی اقتصاد آلمان با هدف مواجهه با مشکلاتی از جمله کمبود منابع، ارائه شد. این رویکرد تلاش می‌کند تا با ارائه چارچوبی شفاف، هوشمند و منطقی، جوانب مختلف ارتباط میان این سه بخش را بررسی نماید تا با انجام تحلیلی یکپارچه، درک بهتری از کنش و واکنش‌های موجود میان محیط‌زیست و فعالیت‌های انسانی فراهم آورد (Hoff, 2011). دستیابی به چنین ادراکی منجر به اتخاذ برنامه‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌های جامع‌تر و امنیت آب، غذا و انرژی در نهایت توسعه کشور به سمت رفع موانع و مشکلات پیش‌رو و برقراری پایداری بلندمدت را به دنبال دارد (Bagheri *et al.*, 2018; Fabiani *et al.*, 2020).

### زیررویکرد سازگار

مدیریت سازگار یک فرایند نظام‌مند است که برای بهبود اقدامات و سیاست‌های مدیریت محیط‌زیست تبیین شده است و هرچند مبتنی بر روش‌های سنتی است اما منجر به راه‌حل‌های معنی‌دار و پایداری بوم‌سازگان می‌شود (Shamshiri *et al.*, 2017). تفاوت این نوع از مدیریت با روش‌های سنتی در نظام‌مند و هدفمند بودن و همراه با یادگیری در حین انجام کار و شناسایی عدم قطعیت‌های موجود در روش مدیریتی اتخاذشده حتی در صورت مواجهه با شکست است (Allan *et al.*, 2008; Shamshiri *et al.*, 2017). مدیریت سازگار بر اساس روش‌شناسی عدم قطعیت‌ها و نحوه تعامل با آن‌ها به دو صورت فعال<sup>۲</sup> و

کشورهای متعدد حاکی از آن است که فعالیت دولت‌ها به‌تنهایی کارآمدی لازم را نداشته و لذا، تدوین یک برنامه راهبردی فراگیر ضروری است (Mohammadi *et al.*, 2017). در این راستا، تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در سازمان‌های دولتی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موانع مشارکت مردم در مدیریت منابع طبیعی معرفی شده است. به‌عبارت‌دیگر بهبود سطح مشارکت مردمی با افزایش قدرت تصمیم‌گیری ساکنان حوزه آبخیز همراه است (Nasiri Khiavi *et al.*, 2022). تغییرات فعلی بوم‌سازگان‌های کشور نشان از درک نادرست مدیران و برنامه‌ریزان کشوری از سیاست‌ها و چارچوب‌های قانونی مؤثر بر مدیریت صحیح آبخیزهاست. تداوم این روند و بی‌توجهی محض به سیاست‌های مدیریتی و جلوگیری از سیاست‌های مداخله‌گرانه، هدررفت منابع خاک و آب را در پی خواهد داشت (Sadeghi *et al.*, 2019; Sadeghi *et al.*, 2021a; Sadeghi *et al.*, 2021b).

### رویکرد مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

#### زیررویکرد پیوندی

افزایش کارایی هر سه سامانه آب، غذا و انرژی بدون کاهش منابع طبیعی به‌عنوان یک چالش بزرگ شناخته شده است. بدین جهت از سال ۲۰۱۵ به بعد سازمان ملل متحد مجموعه‌ای از اهداف را به‌منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار جوامع انسانی و تضمین فراهمی آب، غذا و انرژی به‌منظور پایداری برای نسل‌های آینده در دستور کار خود قرار داده است (Fabiani *et al.*, 2020; Chai *et al.*, 2020). با توجه به ارتباط نزدیک سامانه‌های آب-غذا-انرژی (Sharifi Moghadam *et al.*, 2019; Sadeghi *et al.*, 2020a; Sharifi Moghadam *et al.*, 2023) و همچنین تأثیر متقابل

پاسخ‌هاست. هم‌چنین مدیریت سازگار کمک بسیار زیادی به مدیران در بهینه‌سازی انتخاب‌ها و درک پویایی سامانه‌های پیچیده (Linkov *et al.*, 2006)؛ (Henriksen & Barlebo, 2008) می‌کند.

### نتایج و بحث

#### بازبینی رویکرد مدیریت غیریکپارچه آبخیز

مطالعه حوزه‌های آبخیز از نظر ماهیت بین‌رشته‌ای و نیازمند برقراری ارتباط با متخصصین مختلف است. ارزیابی مطالعات حوزه آبخیز فخران که در آن بخش‌های مختلف فیزیوگرافی، اقلیم‌شناسی، پوشش گیاهی، اقتصادی-اجتماعی، فرسایش و رسوب، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، خاک‌شناسی لحاظ شده است و برای هر بخش سعی شده است از متخصصان مرتبط استفاده شود که می‌توان این‌گونه اشاره کرد در این آبخیز رویکرد بین‌رشته‌ای در نظر گرفته شده است. پله بعدی مورد ارزیابی، رویکرد آبخیزداری است که در این رویکرد تلاش بخش‌های دولتی و خصوصی برای رسیدگی به مشکلات هیدرولوژیکی و بوم‌شناسی مطرح شده است (Salehpour Jam & Mosaffaie, 2023). در این راستا در مطالعات حوزه آبخیز فخران نیز برای حل مشکلات هیدرولوژیکی و بوم‌شناسی مقیاس حوزه آبخیز در نظر گرفته شده است و می‌توان گفت رویکرد حوزه آبخیز در این آبخیز لحاظ شده است. پله بعدی از این رویکرد پله اجرایی-پژوهشی است و همان‌گونه که اهمیت ارتباط محیط‌های پژوهشی را همگان مطلع هستند لیکن طرح‌ها بر اساس دستورالعمل‌هایی که ارزیابی و به‌روز نشده‌اند و بدون رفع نقایص مجدداً اجرا

غیرفعال<sup>۱</sup> مطرح می‌شود. در مدیریت سازگار فعال به‌طور مداوم و فعالانه به دنبال کاهش عدم قطعیت‌ها از طریق مداخلات مدیریتی و آگاهانه است درحالی‌که مدیریت سازگار غیرفعال متمرکز بر اهداف همراه با یادگیری مفید اما غیرمنتظره در نحوه تصمیم‌گیری است (Williams, 2011). این بدین معنی است که در مدیریت سازگار فعال، تصمیم‌گیری مبتنی بر یادگیری است و راهبردهای مدیریتی اثر مداخلات بر یادگیری و منابع را پیش‌بینی می‌کنند. درحالی‌که در مدیریت غیرفعال، اهداف به‌طور مشخص تحت تأثیر اقدامات مدیریتی بر منابع بدون لحاظ اثر اقدامات مدیریتی در کاهش عدم قطعیت‌هاست (Williams, 2011). به‌عبارت‌دیگر مدیریت سازگار به‌نوعی مؤثرترین روش برای مدیریت آبخیزهای با فرایندهای پیچیده معرفی شده است (Allan و همکاران، ۲۰۰۸). این نوع از مدیریت تأکید بر نیاز به تغییر با محیط‌زیست و یادگیری از انجام کار دارد و صرفاً با پایش<sup>۲</sup> تمام تغییرات شرایط محیط‌زیست قابلیت اجرایی پیدا خواهد کرد. طبق اظهارات (Holling, 1978) مدیریت سازگار ابزاری است که نه‌تنها موجب تغییر و بهبود یک سامانه می‌شود بلکه ابزاری برای یادگیری از خود سامانه نیز به‌حساب می‌آید. از مدیریت سازگار تحت عنوان مدیریت سازگار منابع<sup>۳</sup>، مدیریت و ارزیابی سازگار محیط‌زیست<sup>۴</sup> و مدیریت سازگار بوم‌سازگان<sup>۵</sup> نیز نام‌برده شده است. اصطلاح مدیریت سازگار اولین بار در دانشگاه Florida معرفی شده است (Holling, 1978) و درواقع روشی تکرارپذیر<sup>۶</sup> برای مدیریت منابع طبیعی در سامانه‌های همراه با طیف وسیعی از

4. Adaptive Environmental Assessment and Management (AEAM)  
5. Adaptive Ecosystem Management  
6. Iterative Method

1. Passive  
2. Monitoring  
3. Adaptive Resource Management (ARM)

می‌شوند. موفقیت در سطوح مختلف مدیریتی در حوزه‌های آبخیز مستلزم برخورداری از دانش مناسب در تبیین فرآیندها و چگونگی برخورد با رویدادهای مختلف در آبخیزهاست که برون‌رفت از شرایط فعلی و تداعی‌کننده سلامت در عملکرد و پایداری در ارائه خدمات آبخیزها باشد، بنابراین علاوه بر دانش رسمی، دانش نوین نقش مؤثری در توانمندسازی جوامع و حرکت در مسیر توسعه پایدار ایفا می‌کند و می‌تواند در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز همگام با سایر دانش‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Sadeghi *et al.*, 2019). در این راستا کارشناسان حوزه منابع طبیعی بایستی از نتایج حاصل از پژوهش‌هایی از جمله ارزیابی سلامت آبخیزهای کشور برای اولویت‌بندی مناطق مشکل‌دار و تخصیص بودجه به این مناطق استفاده نمایند که متأسفانه در این آبخیز این رویکرد قابل‌اجرا لحاظ نشده است؛ بنابراین حوزه آبخیز فخران در پله‌های ابتدایی نردبان مدیریت آبخیز یعنی رویکرد اجرایی-پژوهشی قرار دارد.

### بازبینی رویکرد مدیریت یکپارچه آبخیز

در مدیریت یکپارچه تلاش گروه‌داران، ایجاد تعادل مناسب بین اجزای بوم‌سازگان و ارتقا وضعیت اجتماعی-اقتصادی و محیط‌زیستی است. هم‌چنین در این رویکرد پایداری منابع حوزه آبخیز از طریق مشارکت سهام‌داران و آبخیزنشینان دولتی و غیردولتی صورت می‌گیرد. از این‌رو سازمان‌های مختلفی از جمله سازمان حفاظت از محیط‌زیست، سازمان توسعه و نوسازی معادن و راه و شهرسازی در بهره‌برداری از منابع طبیعی و مدیریت آن دخیل هستند که در مطالعه انجام‌شده نقش هیچ‌کدام از این سازمان‌ها در منطقه دیده نشده است. ارزیابی رویکرد مشارکتی نیز حاکی از آن است که مطالعات انجام شده در حوزه آبخیز فخران نشان می‌دهد قبل از شروع مطالعات و نوشتن شرح

خدمات کمترین مشارکت با جوامع آبخیزنشین صورت گرفته است. در این راستا Pahl-Wostl و همکاران (۲۰۰۷)، Minato و همکاران (۲۰۱۰) و Mutekanga (۲۰۱۲) در مطالعه خود نشان دادند که عوامل آموزشی-ترویجی مانند برگزاری کارگاه‌های آموزشی و تشویق یادگیری اجتماعی بر مشارکت گروه‌داران در فرایند مدیریت منابع طبیعی تأثیرگذار بوده است. از سوی دیگر Bando (۲۰۱۰) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیده است که نگرش مثبت گروه‌داران نسبت به منابع طبیعی بر میزان مشارکت آنان در مدیریت این منابع تأثیرگذار بوده است. هم‌چنین نتایج ارزیابی حوزه آبخیز فخران حاکی از آن بوده که عدم تعامل با گروه‌داران، سبب دیده نشدن منافع و اهداف آن‌ها شده و در نتیجه مشارکت مردم کاهش یافته است.

اجرای پروژه‌های چندمنظوره آبخیزداری با توجه به رویکرد غیرمتمرکز با در نظر گرفتن منافع آبخیزنشینان و نیز مشارکت دادن جوامع محلی در مراحل مختلف پایش، مطالعات، نیازسنجی و اجرا می‌تواند موجب تمرکززدایی قدرت تصمیم‌گیری شده و اعتماد و جلب مشارکت فعال مردم در مراحل ذکرشده را به دنبال داشته باشد (Mosaffaei *et al.*, 2020)؛ بنابراین میزان مشارکت آبخیزنشینان در طراحی و تدوین، اجرا و پیاده‌سازی و ارزشیابی طرح‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز فخران در حد پایین است که با نتایج (Rahimzadeh & Charmchian Langroodi, 2019) مطابقت ندارد. بررسی‌ها حاکی از آن است که علی‌رغم وجود منابع اقتصادی مناسب در حوزه آبخیز فخران، طرح‌های توسعه اقتصادی و درآمدی برای بهبود شرایط اقتصادی و معیشتی در نظر گرفته نشده است. در این راستا Mutekanga (۲۰۱۲) نیز در مطالعات خود نشان داده‌اند که فقر و وابستگی معیشت جوامع محلی به بهره‌برداری از منابع طبیعی از جمله عوامل مؤثری

چالش‌ها و محدودیت‌های موجود در سامانه آبخیز، امکان استفاده منطقی از فرصت‌ها و شرایط بالقوه را به خوبی فراهم می‌آورد تا رفاه گروداران با حفظ امنیت آب، غذا و محیط‌زیست در راستای تحقق توسعه پایدار فراهم گردد (Omidi-Shahabad *et al.*, 2019). هم‌چنین اجرای رویکرد آب-غذا-انرژی موجب بهبود بهره‌وری استفاده از منابع و دوری از اثرات نامطلوب سیاست‌های توسعه‌ای تک‌بخشی می‌شود؛ بنابراین با تأکید بر یک سیاست در مدیریت هر یک از منابع به‌تنهایی، باعث ایجاد بروز مسائل مختلف در سایر منابع خواهد بود (Kalbali *et al.*, 2021). از آنجایی که افزایش کارایی استفاده از منابع و کاهش خطرات محیط‌زیستی و تخریب بوم‌شناسی نیازمند مدیریت جامع و مشترک این منابع با استفاده از رویکرد هم‌بست است (Safaei *et al.*, 2020) و با توجه به توضیحات ارائه شده این رویکرد به‌هیچ‌عنوان در مطالعات این آبخیز در نظر گرفته نشده است. در نهایت مدیریت سازگار که در پله آخر از این نردبان به آن اشاره شده است و نوعی از مدیریت که تأکید بر پایش و یادگیری در حین انجام کار و شناسایی عدم قطعیت‌های موجود دارد که در مطالعه حوزه آبخیز فخران به هیچ‌کدام اشاره‌ای نشده است.

### انتقال به پله بالاتر نردبان مدیریت آبخیز

اگرچه تمام رویکردهای ذکر شده در نردبان مدیریت آبخیز برای بهبود وضعیت حوزه آبخیز ضروری است. هر حوزه آبخیز بر اساس رویکردهای اجرا شده در آن در پله‌های مختلف این نردبان ایستاده‌اند. برای آگاهی از رویکرد مدیریت آبخیزها و حرکت به سمت پله‌های بالاتر نردبان مدیریت آبخیز نیازمند اجرای مواردی است که به‌اختصار در ذیل به آن‌ها اشاره شده است.

هستند که نیاز به مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز را دوچندان کرده‌اند و بر اتخاذ و اجرای راهبردهای مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز تأثیرگذار هستند. از طرفی دیگر تغییر مدیریت از حالت متمرکز به مدیریت محلی، چیدمان نهادی محلی مناسب، اصلاح و تدوین قوانین و امور حقوقی و قضایی و اصلاح حقوق مالکیت (مجوزهای برداشت) می‌تواند راهگشای مشکلات آبخیزها باشد که در مطالعات Baniadadi و Palouch (۲۰۲۰) نیز به آن اشاره شده اما در مطالعه حوزه آبخیز فخران به هیچ‌کدام اشاره‌ای نشده است. Newaz و Rahman (۲۰۲۲) نیز تأکید کردند که تمرکززدایی در امر مدیریت می‌تواند امری مفید در مدیریت حوزه‌های آبخیز باشد که در مطالعات تفضیلی-اجرایی حوزه آبخیز فخران مورد بی‌توجهی قرار گرفته است. هم‌چنین تعامل بیشتر با جوامع محلی در اجرای طرح‌های مدیریتی علاوه بر نقش‌آفرینی آن‌ها و هم‌سویی با تدابیر اندیشیده شده، حفظ، نگهداری و مراقبت از طرح‌های اجرایی را نیز بهبود می‌بخشد (Rabet *et al.*, 2021). قابل‌ذکر است برای دستیابی به این رویکرد نیازمند اجرای مراحل اولیه نردبان مدیریت آبخیز است زیرا رویکرد غیریکپارچه آبخیز را نیز در خود جای داده است و با اجرای رویکرد غیریکپارچه آبخیز رویکردهای این پله قابلیت اجرا خواهد داشت.

### بازبینی رویکرد مدیریت جامع حوزه آبخیز

در راستای اجرای مدیریت یکپارچه آبخیز، شناسایی پیشران‌های دخیل می‌تواند بر فرایند مدیریت جامع تأثیرگذار باشد. چراکه اجرای مدیریت جامع بدون همکاری گروه‌های گرودار از بخش‌های مختلف امکان‌پذیر نخواهد بود (Ebrahimi-Azarkhoran, 2015)؛ بنابراین مدیریت جامع آبخیزها فرایندی انعطاف‌پذیر است که با در نظر گرفتن پیچیدگی‌ها،

گیرد، می‌تواند بهبود وضعیت آبخیزها را تضمین کند. بررسی سیاست‌ها و قوانین مرتبط با مدیریت آبخیز نشان می‌دهد که با تعیین اهداف و اولویت‌های مدیریتی، تنظیم استفاده از منابع آب، حفاظت از آب و ترویج فرهنگ حفاظت از آب می‌توان به بهبود کارایی استفاده از آب، مدیریت سیلاب و خشک‌سالی، حفظ تنوع زیستی و بهبود کیفیت آب دست یافت. ایجاد یک چارچوب قانونی قوی و اتخاذ سیاست‌های حمایتی، مدیران را قادر می‌سازد تا اقدامات مناسب را برای حفاظت از منابع خاک و آب و بهبود وضعیت آبخیزها انتخاب کنند. انواع پروژه‌های آبخیزداری در سطوح مختلف در حوزه‌های آبخیز کشور اجرا می‌شود، این پروژه‌ها بر اساس طرح‌های مطالعاتی تعیین و اجرا می‌شوند، گاهی این طرح‌ها بر اساس دستورالعمل‌هایی است که ارزیابی و به‌روز نشده، بدون رفع نقایص و گاهی به دلیل خطای انسانی موجب اجرای پروژه‌هایی می‌شود که ناکارآمد بوده و با شکست اقتصادی مواجه می‌شوند. یعنی نه تنها هیچ‌یک از منابع طبیعی مانند آب‌و‌خاک و گیاه حفاظت نمی‌شود، بلکه هزینه اجرای پروژه نیز هدر می‌رود (Jafari et al., 2021).

### نتیجه‌گیری کلی

در یک نگاه جهانی، تغییر جهت مشخصی از چشم‌انداز سیاست‌گذاری سنتی در زمینه مدیریت آبخیزها به سمت مدیریت جامع یا به دیگر سخن مدیریت مشارکتی بین کلیه ذینفعان موجود در یک حوزه آبخیز (تمامی گروه‌داران مردمی و دولتی دخیل در این حوزه‌های آبخیز) به‌وضوح قابل دریافت است، به‌طوری‌که تمایل به مدیریت جامع به‌جای مدیریت بخشی، تغییر از شیوه مدیریتی بالا به پایین به‌سوی مدیریت مبتنی بر مشارکت گروه‌داران، تغییر از رویکرد مبتنی بر افزایش عرضه به سمت مدیریت تقاضا، تغییر از رویکرد حاکمیتی به سمت مدیریت مردم‌محور و یا

### مشارکت جوامع و گروه‌داران در بخش‌های مختلف

مدیریت جامع آبخیز به‌عنوان مفهومی نو و رویکردی جدید در راستای برنامه‌ریزی، توسعه، مدیریت منابع آب و پوشش گیاهی با تأکید ویژه بر مسائل اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیستی مطرح است که به دنبال ایجاد راهکارهای مشارکتی در این عرصه‌ها است. مقصود و هدف این راهکار ایجاد یکپارچگی و هماهنگی در مدیریت منابع طبیعی و منابع اجتماعی حوزه‌ها در قالب برنامه‌های مردم‌محور است (Mutekanga, 2012). به‌عبارت‌دیگر طرح مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور متشکل از روش‌های مختلف آبخیزداری، تغییر الگوی مصرف منابع طبیعی، بهینه‌سازی سامانه‌های بهره‌برداری آب و استحصال آن، به‌کارگیری ابزارهای کشاورزی سازگار، رعایت تعادل بوم‌شناسی، فرهنگ‌سازی و ایجاد زیرساخت‌های مناسب مبتنی بر رویکرد مدیریت مشارکتی قابل دستیابی است که نیازمند عزم جدی و همه‌جانبه مدیران، سیاست‌گذاران، کارشناسان و مردم است (Motavali et al., 2021).

### بازنگری سیاست‌ها، قوانین و دستورالعمل‌های

#### محیط‌زیستی

سیاست‌های حاکم بر محیط‌زیست و منابع طبیعی می‌تواند نقش مهمی در توسعه و ترویج رویکرد مدیریت آبخیزها برای دستیابی به سلامت و پایداری حوزه آبخیز داشته باشد. در این راستا، دولت‌ها و آژانس‌های بین‌المللی نقش مهمی در تدوین سیاست‌های محیط‌زیستی ایفا می‌کنند. این سیاست‌ها می‌توانند محرکی برای قانون‌گذاری مبتنی بر رویکردها باشند. سیاست‌های کلان محیط‌زیستی ایران نمونه‌ای از این سیاست‌ها است (Salehpour Jam et al., 2021). در این راستا مدیریت جامع حوزه آبخیز، زمانی که در یک چارچوب قانونی و سیاست‌های حمایتی قرار

نشده است. طبیعی است بخش عمده‌ای از این کمبودها و قرار نگرفتن مطالعات این حوزه در پله‌های بالاتر از نردبان مدیریت آبخیز متوجه شرح خدمات عمومی، مشابه و کلی مطالعات تفصیلی-اجرایی موجود و در اختیار مشاوران است که طبعاً ضرورت بازنگری شرح خدمات هدف‌مدار و مشکل‌محور در این‌گونه مطالعات را تأیید می‌کند؛ بنابراین مسئولین و سیاست‌گذاران حوزه منابع طبیعی و آبخیزداری باید همگام با تغییر نیازهای اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و مدیریتی از رویکردهای جدید علمی و جامعه‌محور در راستای شناخت مسائل مرتبط با آبخیزها و ارائه راه‌حل‌های متناسب با آنها استفاده نمایند. چنانچه روند فعلی مدیریت آبخیزها تداوم داشته باشد، از پایداری آبخیزها کاسته شده و ماحصل آن هدررفت منابع خاک و آب، مهاجرت بی‌وقفه مردم به شهرهای بزرگ‌تر و بروز مشکلات محیط‌زیستی خواهد بود. یکی از رویکردهای مهم قابل‌اجرا برای جلوگیری از هدررفت خاک و آب استفاده از رویکرد پیوندی و یا رابطه آب-غذا-انرژی به‌عنوان روشی نوین برای تفکر در مورد مسائل مرتبط تلقی می‌شود، درواقع این رویکرد می‌تواند سازگاری با تغییرات آب و هوایی را تسهیل کند و با افزایش استفاده از منابع به تضمین امنیت آب، غذا و انرژی کمک کند، رویکرد پیوندی در برنامه‌های سازگاری با تغییرات آب و هوایی و دیدگاه انطباق با برنامه‌های توسعه بسیار مهم است. علاوه بر این مطالعات اخیر نشان‌دهنده این است که رویکردهای پیوندی می‌توانند اثر هم‌افزایی را نمایش دهد و چنانچه به‌خوبی اجرا شود، بهبود برنامه‌ریزی، مدیریت و حکمرانی یکپارچه را به دنبال دارد. با این حال امروزه، کاربرد و پیاده‌سازی رویکردهای پیوندی در کشورهای در حال توسعه در مراحل ابتدایی خود هستند.

تفویض قدرت و اختیارات بین گروه‌های مختلف گردآور مشهود است. در این راستا اجرای رویکرد مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در وهله اول مستلزم تدوین الگویی است که نقشه راه آن باشد؛ درحالی‌که هنوز نقشه علمی و الگوی مدیریتی مدونی در کشور ما وجود ندارد و اقدامات انجام‌شده آبخیزداری نیز متناسب با ساختار و پویایی سامانه‌های محیطی و اقتصادی-اجتماعی نبوده است.

از این‌رو بر اساس چالش‌های مدیریتی می‌توان به این نتیجه رسید که مدیریت حوزه‌های آبخیز در ایران همچنان با چالش‌های زیادی روبه‌رو است و نتوانسته وضعیت حوزه‌های آبخیز را سامان بخشد. از این‌رو اتخاذ رویکرد مدیریت جامع برای تدوین و توسعه سازوکارهای هماهنگی بین سازمان‌های مسئول، تدوین استراتژی‌هایی جهت انسجام درون‌سازمانی و برون‌سازمانی و مشارکت بخش خصوصی، سازمان‌های مردم‌نهاد و تعاونی‌ها، اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز رویکردی مناسب با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های مؤثر و تأثیرگذار بر آبخیزها و جوامع زیستی آنها است. بر این اساس ارزیابی مطالعات تفصیلی-اجرایی حوزه آبخیز فخران خراسان جنوبی مبتنی بر نردبان مدیریت آبخیز نشان داد تفاوت‌های زیادی بین مطالعات موجود با موازین استاندارد وجود دارد. به‌طوری‌که حوزه آبخیز فخران توانسته است از پله‌های اول و دوم رویکرد غیریکپارچه آبخیز عبور نماید لیکن با توجه به اینکه رویکرد اجرایی-پژوهشی از جمله ارزیابی سلامت و پایداری که از موارد مهم این رویکرد به شمار می‌رود در این حوزه لحاظ نشده است و حوزه آبخیز فخران در پله سوم از رویکرد غیریکپارچه آبخیز قرار دارد. هم‌چنین نیازهای مختلف مؤثر بر زندگی جوامع محلی و هم‌چنین عملکرد حوزه آبخیز در مطالعات تفصیلی اجرایی دیده

## سیاسگزاری

به‌خصوص معاونت محترم آبخیزداری استان در راستای همکاری و مساعدت در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی کند.

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی

## References

- Ahn, S. R. & Kim, S. K. (2019). Assessment of Watershed Health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration priorities. *Environmental Modelling and Software*, 122, 103926. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014>
- Al-Busaidi., M. (2012). The struggle between nature and development: Linking local knowledge with sustainable natural resources management in Al-Jabal Al Akhdar Region, Oman. (Doctoral dissertation, University of Glasgow).
- Allan, C., Curtis, A., Stankey, G. & Shindler, B. (2008). Adaptive Management and Watersheds: a social science perspective. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 44(1), 166-174. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00145.x>
- Bagdi, G. L. & Kurothe, R. S. (2014). People's participation in Watershed management programmes: Evaluation study of Vidarbha region of Maharashtra in India. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(3), 57-66. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30023-X](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30023-X)
- Bagheri, A. (2018). Water resources management with water, energy and food linkage approach. The first international conference on water consumption management. *Demand and Efficiency*. (In Persian).
- Bagherian, R., Goodarzi, M., Sanaei Torqabah, M. & Bagherian Kalat, A. (2017). Investigation on dimensions of people's participation in Watershed management programs; using factor analysis. *Watershed Management Science and Engineering*, 2(3), 1-10. (In Persian).
- Bandoh, G. A. (2010). Conservation and Natural Resource Management in the Ankasa Resource Reserve, Ghana. *Doctoral Thesis Waterloo University*, 252.
- Baniadadi, M. & Palouch, M. (2020). Designing the optimal governance model of underground water resources at the level of the Watershed, Erzuye Watershed-Kerman Province. *Watershed Engineering and Management*, 12(2), 514-525. (In Persian).
- Beheshti, M. & Nasrollahi, L. (2016). Dynamic Analysis of The Role of Social Capital in the Process of Development: an Interdisciplinary Approach. *Social Sciences*, 23(72), 1-31. (In Persian).
- Chai, J., Shi, H., Lu, Q. & Hu, Y. (2020). Quantifying and predicting the Water-Energy-Food-Economy SocietyEnvironment Nexus based on Bayesian networks - A case study of China. *Cleaner Production*, 256, 120266. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120266>
- 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. (In Persian).
- Chamani, R., Sadeghi, S. H. R., Zare, S., Shekohideh, H., Mumzaei, A., Amini, H., Hemmati, L. & Zarei, R. (2023a). Flood-oriented Watershed health and ecological security conceptual modeling using pressure, state, and response (PSR) approach for the Sharghonj Watershed, South Khorasan Province, Iran. *Natural Resource Modeling*, e12385. <https://doi.org/10.1111/nrm.12385>
- Chamani, R., Vafakhah, M. & Sadeghi, S. H. R. (2023b). Effect of drought on temporal-spatial changes of the Efin Watershed health. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 1-12. (In Persian).
- Darabi, M., Gharadaghi, H. & Nejabat, M. (2018). Evaluation of Watershed projects performance on erosion and sediment transport in Sivand Dam Watershed, Fars Province, Iran. *Hydrogeomorphology Journal*, 14(4), 199-218. (In Persian).
- De Montis, A., Martin, B., Ortega, E., Ledda, A. & Serra, V. (2017). Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land use policy*, 64, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.028>
- Duan, T., Feng, J., Chang, X. & Li, Y. (2022). Watershed health assessment using the coupled integrated multistatistic analyses and PSIR framework. *Science of the Total Environment*, 847, 157523. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157523>
- Ebrahimi-Azarkhoran, F., Ghorbani, M., Selajgeh, A. & Mohseni Saravi, M. (2015). Social Network Analysis: Social power and key actors in the action plan of participatory management of water resources (Case study: Jajroud River, Latian Watershed Darbandsar Village). *Watershed Management Association*

- Association, 9(28), 21-33. (In Persian).
- EPA, U. S. (1996). Watershed approach framework. United States Environmental Protection Agency, Office of Water. <http://www.epa.gov/owow/watershed/framework>
- Ervinia, A., Huang, J. L., Huang, Y. L. & Lin, J. Y. (2019). Coupled effects of climate variability and land use pattern on surface water quality: An elasticity perspective and Watershed health index. *Science of the Total Environment*, 693, 133592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133592>
- Esmali, A. & Abdollahi, K. (2011). Watershed Management & Soil Conservation: *University of Mohaghegh Ardabili*. (In Persian).
- Fabiani, S., Vanino, S., Napoli, R. & Nino, P. (2020). Water energy food nexus approach for sustainability assessment at farm level: An experience from an intensive agricultural area in central Italy. *Environmental Science & Policy*, 104, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.008>
- Farzi, P., Sadeghi, S. H. R. & Jomehpour, M. (2022). Application of Resilience Concept in the Analysis of Basic Resources Security for the Shazand Watershed, Markazi Province, Iran. *Watershed Management Research*, 13(25), 86-96. (In Persian).
- Gao, J., Christensen, P. & Li, W. (2017). Application of the WEAP model in strategic environmental assessment: experiences from a case study in an arid/semi-arid area in China. *J. Environ. Manag.* 371-363, 198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.068>
- Ghaleno, M. R. D., Meshram, S. G. & Alvandi, E. (2020). Pragmatic approach for prioritization of flood and sedimentation hazard potential of Watersheds. *Soft Comput*, 24, 15701-15714.
- Hardy, S. D. (2022). Power to the people: Collaborative Watershed management in the Cuyahoga River Area of Concern (AOC). *Environmental Science & Policy*, 129, 79- 86. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.12.020>
- Hazbavi, Z. (2018). Importance of geology and geomorphology in Watershed health assessment. *Agriculture & Forestry*, 64 (4), 277-287. <https://doi.10.17707/AgricultForest.64.4.27>
- Hazbavi, Z., Parchami, N., Alaei, N. & Babaei, L. (2020). Assessment and analysis of the KoozehTopraghi Watershed health status, Ardabil Province. *Water and Soil Resources Conservation*, 9(3), 121-142. (In Persian).
- Henriksen, H. & Barlebo, H. (2008). Reflections on the use of Bayesian belief networks for adaptive management. *Environmental Management*, 88(4), 1025-1036. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.05.009>
- Hoff, H. (2011). Understanding the NEXUS. Background paper for the Bonn, nexus conference: The water, energy and food security nexus solutions for the green economy. *Stockholm Environment Institute*, Stockholm.
- Holling, C. S. (1978). Adaptive Environmental Assessment and Management. *John Wiley & Sons*, ISBN 9781932846072.
- Jabbari, I. (2021). Development of Science, Interdisciplinary Thinking and the Risk of Fundamental Damage to the Geography of Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(3), 1-8. (In Persian).
- Jafari, M., Ekhtesasi, M. R. & Fatahi Ardakani, A. (2021). Evaluation of factors affecting the performance and economic productivity of watershed management projects using SWOT model. *Watershed Engineering and Management*, 13(2), 328-338. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.126195.1652>
- Kalbali, E., Ziaee, S., Mardani Najafabadi, M. & Zakerinia, M. (2021). Approaches to adapting to -impacts of climate change in northern Iran: The application of a Hydrogy-Economics model. *Journal of Cleaner Production*, 280: Part 1, 124067. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124067>
- Linkov, I., Satterstrom, F. K., Kiker, G., Batchelor, C., Bridges, T. & Ferguson, E. (2006). From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and applications. *Environment International*, 32(8), 1072-1093. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.013>
- Mabuza, M. P. (2019). Globalisation, climate change, and disasters. *Evaluating International Public Health Issues*, 265-313.
- Minato, W., Curtis, A. & Allan, C. (2010). Social norms and natural resource managements in a changing rural community. *Environmental Policy and Planning*, 12(4), 381-403. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2010.531084>
- Mohammadi Golrang, B., Lai, F.S. & Sadeghi, S. H. R. (2017). Evaluation of variables affecting people's participation in soil pasture and Watershed management projects, Case Study: Kouskabadi Watershed in Khorasan Razavi. *Journal of Research and Rural Planning*, 6(1), 49-68. (In Persian).
- 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. (In Persian).
- MohseniSaravi, M. & MortezaeiFrizhandi, G. (2015). Integrated Watershad Mngement (2nd ed). *University of Tehran Press*. (In Persian).
- Moradi, S. & Limaiei, S. M. (2018). Multi-objective game theory model and fuzzy programing approach for sustainable Watershed management. *Land Use Policy*, 71, 363-371. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.008>
- Mosaffaei, J., Salehpoorjam, A. & Soltani, M. J. (2020). Identifying and prioritizing factors affecting the non-participation of rural communities in Watershed management projects in the Nirij Watershed. *Watershed Management Research*, 11(22), 121-131. (In Persian).
- Motavali, H. A., Rezaei, A. R. Hejazi, Y. & Elmbaygi, A. (2021). Analysis of the policy network in the participatory management of natural resources (A Case Study of the Hable Rood Watershed). *Economic Research and Agricultural Development of Iran*. (In Persian).
- Mutekanga, F. (2012). Participatory policy development for integrated Watershed management in Uganda's highlands. *PhD Thesis University of Wageningen*.
- Nasiri Khiavi, A., Vafakhah, M. & Sadeghi, S. H. R. (2022). Application of participatory approach in identifying critical sub-Watersheds based on flood generation potential in the Cheshmeh-Kileh Watershed, Mazandaran Province. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 90-107. (In Persian).
- Newaz, M. W. & Rahman, M. S. (2022). Politics of decentralization and management of natural resources: An institutional analysis of commons in northeast Bangladesh. *Environmental Development*, 44, 100740. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100740>.
- Noor, H., Bagherian, R. & Sedigh, R. (2018). Assessing attitudes of the rural populations of Khorasan Razavi Province to Watershed management programs. *Watershed Management Research*, 31(2), 17-26. (In Persian).
- Omidi-Shahabad, O., Badri, S., Rezvani, M. & Zali, N. (2019). Analysis of Key Factors Affecting the Formation of Rural Planning Pattern with Futuristic Approach (Case Study: Lorestan Province). *Rural Research*, 10(1), 90-121. (In Persian).
- Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management*, 21(1), 49-62.
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D. & Taillieu T. (2007). Social learning and water resources management. *Ecology and Society*, 12(2): 5.
- Prizadi, T., Mostafavi-Sahib, S. & Shah-Mohammadnejad, S. (2017). Futurism of the Residential System in Baseline Scenario Planning: Improving Regional Planning and Planning (Case Study: Isfahan Province). *Land Management*, 9(1), 81-110. (In Persian).
- Rabet, A. R., Rostamizad, GH. & Poorjam, A. S. (2021). Investigating the barriers to the participation of local communities in the process of implementing Watershed and natural resources projects (Arpachai Watershed, Zanjan Province). *Watershed Engineering and Management*, 1, 1-15. (In Persian).
- Rajaei, F., Dahmardeh Behrooz, R., Ahmadisharaf, E., Galalizadeh, S., Dudic, B., Spalevic, V. & Novicevic, R.(2021). Application of integrated watershed management measures to minimize the land use change impacts. *Water*, 13(15), 2039. <https://doi.org/10.3390/w13152039>
- Rahimzadeh, H. & Charmchian Langroodi, M. (2019). The role of villagers' attitude towards Watershed management projects on their participation (Case Study of Kiasar Watershed). *Rural Development Strategies Quarterly*, 6(1), 75-87. (In Persian).
- Ramesht, M., Ahmadi, A. & Ara, H. (2010). Watersheds from a systemic perspective (Case study: Gamasiab River Watershed). *Urban Ecological Research*, 1(1), 127-136. (In Persian).
- Rezaei, R., Vedadi, E. & Mehrdoost, K. (2012). Studying the effective factors on participation of rural people in Watershed plans of Khomarak Basin, case study: Deh Jalal Village. *Rural Research*, 3(9), 199-221. (In Persian).
- Sadeghi, S. H., Jafarpour, A., Zabihi Silabi, M., Molashahi, S., Naghdi, M., Sharifi Moghani, M., Ghysoori, Z. & Farzadfar, E. (2021a). Biologic Management Framework of Soil Erosion in the Watershed (Applied study: Oshnavieh Galazchai, West Azerbaijan, Iran). *Soil and Water Research*, 52(4), 997-1010. (In Persian).
- Sadeghi, S. H., Jafarpour, A., Farajolahi, M., Khatibi Roodbarsara, D., Moradi Sefidcheghayi, M., Zabihi Silabi, M., Khosravi, M., Kolani, E., Mohammadi, B., Adibi, M. J. & Azarniya, H. (2021b). Biological Management of Soil Erosion (Case Study: Gavoshan Watershed, Kermanshah Province, Iran). *Water and Soil*, 35(4), 551-566. (In Persian).
- Sadeghi, S. H., Moghadam, E. S., Delavar, M. & Zarghami, M. (2020a). Application of water-

- energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. *Agricultural Water Management*, 233, 106071. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106071>
- Sadeghi, S. H. R., Payfeshoordeh, A., Pirooznia, P., Piri, S., Hamzeh Bibalani, M., Khairparast, M., Sarouneh, F., Mostafaei Younjali, S., Naderi Marangelu, N., Noori, A., Havasi, M. & Chamani, R. (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. (In Persian).
- Sadeghi, S. H. R., Sharifi Moghadam, E. & Mohseni Saravi, M. (2020b). New approaches in applied watershed management. *Gorgan University of Agriculture and Natural Resources Publications*, 267. (In Persian).
- Sadeghi, S. H. R., Tavoosi, 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), 561-577. (In Persian).
- Safaei, V., Pourmohammad, Y. & Davari, K. (2020). Interconnected Approach to Water, Energy and Food in Water Resources Management (Case Study: Mashhad Area), *Irrigation and Drainage*, 5(14), 1721-1708. (In Persian).
- Salehpour Jam, A. & Mosaffaie, J. (2023). Introducing the concept of a ladder of Watershed management: A stimulus to promote watershed management approaches. *Environmental Science & Policy*, 147, 315-325. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.07.001>.
- Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J. & Tabatabaei, M. R. (2021). Management responses for Chehel-Chay Watershed health improvement using the DPSIR framework. *Agric. Sci. Technol.* 23, 797-811.
- Shamshiri R. R., Mahadi, M. R., Thorp, K. R., Ismail, I. W., Kelly, R., Ahmad, D. & Man, H. C. (2017). adaptive management framework for evaluating and adjusting microclimate parameters in tropical greenhouse crop production systems. INTECH Publication. Book title: *Plant Engineering*. ISBN 978-953-51-3608-8.
- Sharifi Moghadam, E., Sadeghi, S. H., Zarghami, M. & Delavar, M. (2023). Developing sustainable land-use patterns at watershed scale using nexus of soil, water, energy, and food. *Science of The Total Environment*, 856, 158935. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158935>
- Sharifi Moghadam, E., Sadeghi, S. H. R., Zarghami, M. & Delavar, M. (2019). Water-energy-food nexus as a new approach for watershed resources management: a review. *Environmental Resources Research*, 7(2), 129-135.
- Tarabon, S., Berg`es, L., Dutoit, T. & Isselin-Nondedeu, F. (2019). Environmental impact assessment of development projects improved by merging species distribution and habitat connectivity modelling. *Environ. Manag.*, 241, 439-449.
- Teka, K., Haftu, M., Ostwald, M. & Cederberg, C. (2020). Can integrated Watershed management reduce soil erosion and improve livelihoods? A study from northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(3), 266-276. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.007>
- Thapa, P. S., Chaudhary, S. & Dasgupta, P. (2022). Contribution of integrated Watershed management (IWM) to disaster risk reduction and community development: Lessons from Nepal. *Disaster Risk Reduction*, 76, 103029. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103029>
- Van Huijstee, M. & Glasbergen, P. (2008). The practice of stakeholder dialogue between multinationals and NGOs. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15, 289-310. <https://doi.org/10.1002/csr.171>
- Wang, J., Zhou, W. & Guan, Y. (2022). Optimization of management by analyzing ecosystem service value variations in different Watersheds in the Three-River Headwaters Basin. *Environmental Management*, 321, 115956. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115956>
- Wen, J. & Hou, K. (2021). Research on the progress of regional ecological security evaluation and optimization of its common limitations. *Ecological Indicators*, 127, 107797. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107797>
- Williams, B. K. (2011). Passive and active adaptive management: approaches and an example. *Environmental Management*, 92(5), 1371-1378. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.039>

## Investigating the uncertainty of factors affecting water erosion Hazards in the Qharnaveh watershed using the Bayesian Averaging Model

Seyed Pedram Nainiva\*, Ali Najafinejad, Habib Nazarnejad, Arash Zare Garizi

Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Rengland and Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

\* Corresponding author: Pedram.Nainava@gmail.com

(Received: 13 January 2024 Revised: 07 February 2024 Accepted: 20 February 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** It is necessary to evaluate, identify and prioritise areas prone to erosion. However, the nature of soil erosion and its processes have necessitated effective water and soil conservation strategies, which require hazard assessment at various temporal and spatial scales. Therefore, the current research utilizes the PAP/RAC qualitative model to predict and determine the water erosion hazard status of the Qharnaveh watershed. It also investigates the uncertainty of the factors affecting the erosion hazard map obtained from this model using Bayesian Model Averaging (BMA). This is done to enhance the evaluation, identification, and prioritization of points at risk of water erosion, thereby providing effective strategies for water and soil conservation to mitigate the trend and development of soil erosion.

**Materials and Methods:** The Priority Actions Program/Regional Activity Centre (PAP/RAC), established in 1977, is one of the six Regional Action Centers of the Mediterranean Action Program (MAP), which is itself part of the United Nations Environment Program (UNEP). The MAP includes 21 Mediterranean countries and the European Union, with a common objective of creating a healthier Mediterranean environment on the basis of sustainable development principles. The main area of PAP/RAC is to support Mediterranean countries in improving the sustainable management of their coasts, in particular through the adoption and implementation of the Integrated Management Protocol in the Mediterranean Coastal Zones. In 1998, the PAP/RAC model and approach were presented and employed as a PAP/RAC. According to the executive structure of the PAP/RAC model, in the first stage (predictive approach), in the first step, a Watershed slope map was prepared from a DEM at a height of 30 m, and based on the valuation manual, it was divided into five classes. In the second step, the lithological map was prepared from 1:250,000 geological maps of Golestan province, which was divided into five classes based on the valuation manual. In the third step, the slope erodibility map, which is the result of integration of the rock unit map and the slope map, was evaluated and prepared according to the instructions. In the fourth step, a land use map was prepared based on the classification of the Sentinel 2 satellite images of August 2023 in the Google Earth Engine along with the existing regional information and divided into four categories: residential, forest, pasture and agriculture and evaluated according to the instructions. In the fifth step, the vegetation density map for August 2023 was calculated using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and evaluated according to the instructions. In the sixth step, integrating the land use map and vegetation density map according to the instructions, the soil conservation map was created. In the seventh step, a predicted erosion hazard map was prepared by integrating the erodibility map (integration of slope and lithology) and the soil conservation map, considering the influence of slope factors, lithology, land use, and land cover. After creating the erosion hazard map of the region, field survey and aerial photos were used to assess the erosion states, facilitating the implementation of a descriptive approach to the model. Finally, by overlaying the erosion states on the erosion hazard prediction map, the model integration approach was executed. For the second approach of this research, the area of the watershed (each hectare) was considered as the size of the statistical population. Cochran's formula was utilized to determine the number of random points. Using the 'Create Random Points' command corresponding to the boundary of the Qharnaveh watershed in the ArcGIS software, random points were placed. Based on the value of each point in the model factors (slope, geology, vegetation, and land use) using the BMA method, the impact of each factor on the water erosion hazard map was determined in the R program environment.

**Results and Discussion:** The results of the PAP/RAC qualitative model showed that 0.19, 3.34, 34.94, 227.28, and 514.53 km<sup>2</sup> of the watershed area were classified as very low, low, moderate, high, and very high erosion hazard, respectively. In other words, 741.81 km<sup>2</sup> of the watershed area exhibited high and very high erosion hazard. Generally, according to the factors of the PAP/RAC qualitative model, the results indicate the high potential of this watershed for erosion and soil loss. Further, examination of uncertainty with the BMA reveals the significant importance of slope and lithology in the model output.

**Conclusion:** Considering the importance of evaluating erosion-prone points, it is recommended that the assessment of PAP/RAC model factors in the field should be conducted more meticulously. Additionally, if feasible, model guidelines tailored to the conditions of Iran should be developed to devise more effective water and soil conservation strategies based on the model results, aiming to mitigate the trend and development of soil erosion.

**Keywords:** Bayesian Averaging Model, PAP/RAC Approach and Model, Qualitative Modeling, Soil Loss

**Citation:** Nainiva, S. P., Najafinejad, A., Nazarnejad, H., & Zare Garizi, A. (2024). Investigating the uncertainty of factors affecting water erosion Hazards in the Qharnaveh watershed using the Bayesian Averaging Model. *Integrated Watershed Management*, 4(2), 20-34. doi: 10.22034/iwm.2024.2019913.1123

### 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 عدم قطعیت عوامل مؤثر بر خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه با استفاده از رویکرد میانگین‌گیری بیزین

سیدپدرام نی‌نیوا\*، علی نجفی‌نژاد، حبیب نظرنژاد، آرش زراع‌گاریزی

گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

\*نویسنده مسئول: Pedram.Nainava@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مستعد فرسایش امری ضروری است اما ماهیت فرسایش خاک و فرآیندهای دخیل در آن موجب شده است که راهبردهای مؤثر در زمینه حفاظت آب‌وخاک، نیازمند ارزیابی خطر در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد مدل کیفی PAP/RAC به پیش‌بینی و تعیین وضعیت خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه و بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر نقشه وضعیت خطر فرسایش حاصل از مدل مذکور با روش میانگین‌گیری بیزین، به منظور ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی بهتر نقاط در معرض خطر فرسایش آبی، به جهت ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌وخاک در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک پرداخته است.

**مواد و روش‌ها:** مرکز فعالیت منطقه‌ای/ برنامه اقدامات اولویت‌دار (PAP/RAC) که در سال ۱۹۷۷ تأسیس شد، یکی از شش مرکز فعالیت منطقه‌ای برنامه اقدام مدیریتانه (MAP) است که خود بخشی از برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP) است. بیست‌ویک کشور مدیریتانه‌ای و همچنین اتحادیه اروپا، MAP را تشکیل می‌دهند و هدف مشترک آن‌ها ایجاد محیط سالم‌تر مدیریتانه‌ای است که بر اصل توسعه پایدار تکیه دارد. حوزه اصلی فعالیت PAP/RAC حمایت از کشورهای مدیریتانه‌ای در بهبود مدیریت پایدار سواحل خود، به‌ویژه از طریق تصویب و اجرای پروتکل مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی در مدیریتانه است. در سال ۱۹۹۸ مدل و رویکرد PAP/RAC ارائه و با عنوان مرکز فعالیت منطقه‌ای/ برنامه اقدامات اولویت‌دار مورد استفاده قرار گرفت. طی این پژوهش با توجه به ساختار اجرایی مدل و رویکرد PAP/RAC در مرحله اول (رویکرد پیش‌بینی) در گام اول ابتدا نقشه شیب حوضه از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری تهیه و بر اساس دستورالعمل ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام دوم نقشه سنگ‌شناسی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان گلستان (شیت کوه کورخود) تهیه و بر اساس دستورالعمل ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام سوم نقشه فرسایش‌پذیری شیب که حاصل برهم‌نهی (ادغام) نقشه رخساره‌های سنگی و نقشه شیب مطابق دستورالعمل ارزش‌گذاری و تهیه شد. در گام چهارم کاربری اراضی از طبقه‌بندی تصاویر مردادماه سال ۱۴۰۲ ماهواره سنتینل ۲ در محیط سامانه Google Earth Engine همراه با اطلاعات منطقه‌ای موجود تهیه و به چهار طبقه مسکونی، جنگل، مرتع و زراعت تقسیم‌بندی و مطابق دستورالعمل ارزش‌گذاری شد. در گام پنجم نقشه تراکم پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) برای بازه زمانی مردادماه سال ۱۴۰۲ محاسبه و مطابق دستورالعمل ارزش‌گذاری شد. در گام ششم نقشه حفاظت خاک از ادغام نقشه کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی مطابق دستورالعمل‌ها ایجاد شد. در گام هفتم نقشه وضعیت خطر فرسایش پیش‌بینی شده که تأثیر عوامل شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش زمین را در نظر می‌گیرد از ادغام نقشه فرسایش‌پذیری (تلفیق شیب و سنگ‌شناسی) و نقشه حفاظت خاک مطابق دستورالعمل‌ها ایجاد شد. پس از ایجاد نقشه وضعیت خطر فرسایش منطقه، با رجوع به منطقه و با استفاده از عکس‌های هوایی، حالت‌های فرسایشی منطقه به منظور انجام رویکرد توصیفی مدل، برداشت و درنهایت با جانمایی حالت‌های فرسایشی برداشت‌شده بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش، رویکرد ادغام مدل اجرا گردید. در هدف دوم این پژوهش، با در نظر گرفتن مساحت حوزه (هر هکتار) به‌عنوان حجم جامعه آماری و استفاده از رابطه کوکران، تعداد نقاط تصادفی تعیین و با استفاده از دستور Create Random points متناسب با مرز آبخیز قرناوه، در نرم‌افزار ArcGIS نقاط تصادفی جانمایی شد و بر اساس ارزش هر نقطه در عامل‌های مدل (شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی) با استفاده از روش میانگین‌گیری بیزین میزان تأثیر هر عامل بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش آبی در محیط برنامه R مشخص شد.

**نتایج و بحث:** نتایج حاصل از بررسی مدل کیفی PAP/RAC نشان داد که ۰.۱۹/۳۴، ۳۴/۹۴، ۲۲۷/۲۸ و ۵۱۴/۵۳ کیلومترمربع از حوضه به ترتیب در وضعیت خطر فرسایش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد است. به‌عبارت‌دیگر ۷۴/۱/۸۱ کیلومترمربع از حوضه در وضعیت خطر فرسایش زیاد و بسیار زیاد است که به‌طور کلی نتایج بیانگر پتانسیل بالای این حوضه در فرسایش و هدررفت خاک با توجه به عامل‌های مدل کیفی PAP/RAC است و همچنین نتایج بررسی عدم قطعیت با مدل میانگین بیزین، گویای اهمیت بالای شیب و سنگ‌شناسی در نتیجه و خروجی مدل است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به اهمیت ارزیابی نقاط مستعد فرسایش پیشنهاد می‌شود، ارزش‌گذاری (رتبه‌دهی) در زمینه عامل‌های مدل PAP/RAC با دقت بیشتری انجام گیرد و در صورت امکان دستورالعمل‌های مدل متناسب با شرایط کشور ایران تهیه گردد تا ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌وخاک با توجه به نتایج مدل و در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک، مؤثرتر واقع گردد.

**واژه‌های کلیدی:** رویکرد و مدل PAP/RAC، مدل میانگین‌گیری بیزین، مدل‌سازی کیفی، هدررفت خاک

**استناد:** نی‌نیوا، س.پ.، نجفی‌نژاد، ع.، نظرنژاد، ح.، زراع‌گاریزی، آ. (۱۴۰۳). بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه با استفاده از رویکرد میانگین‌گیری بیزین. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۳۴-۲۰.

### 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

در جهان همراه با تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی، خاک‌های حاصلخیز جزو منابع ضروری برای حمایت از بشریت محسوب می‌شوند (Tahouri et al., 2022). خاک یکی از باارزش‌ترین ثروت‌های ملی هر کشور است (Zangiabadi et al., 2010) که اگر استفاده از آن بر اساس استعداد، قدرت تولیدی آن و مبتنی بر رعایت اصول صحیح و علمی باشد، میزان هدررفت خاک<sup>۱</sup> به حداقل می‌رسد (Refahi, 2000). با این حال، خاک‌ها اغلب در برابر پویایی فرسایش آبی، آسیب‌پذیر هستند که همچنان یک تهدید بزرگ در بسیاری از نقاط جهان محسوب می‌شود (Tahouri et al., 2022). چراکه اگر میزان فرسایش خاک بیشتر از سرعت تشکیل خاک باشد، تهدید برای پایداری به حساب می‌آید و بر بهره‌وری خاک تأثیر منفی می‌گذارد (Hembram & Saha, 2020). فرسایش خاک ممکن است در آینده نزدیک به دلیل تغییرات آب‌وهوایی در نقاط مختلف جهان شدیدتر شود (Amore et al., 2004). از آنجایی که فرسایش خاک و تخریب اراضی از مشکلات جدی تلقی می‌شود، به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوب‌دهی، ضروری است که مقدار کل بار رسوبی و شدت فرسایش‌پذیری در حوزه‌های آبخیز، مورد ارزیابی قرار گیرد (Nainiva & Satarvand, 2023). اما از یک‌سو استراتژی‌های مؤثر حفاظت آب‌و خاک، نیازمند ارزیابی خطر در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است؛ چراکه ماهیت فرسایش و فرآیندهای همراه با آن و وابستگی آن به عواملی همچون نوع خاک، پوشش زمین، کاربری زمین و عوامل مدیریتی، موجب گوناگونی مکانی و زمانی فرسایش شده است (Hassanzadeh, 2020). از سوی دیگر یک چالش برای تصمیم‌گیران مدیریت حوضه، شناسایی مدل‌هایی است که پیچیدگی فرآیندهای حوضه را با

استفاده از داده‌های موجود به‌طور دقیق شبیه‌سازی می‌کنند (Nguyen et al., 2019). مسئله اساسی مدل‌سازی فرسایش، بررسی عدم قطعیت و قابلیت اطمینان نتیجه است. از آنجایی که در اکثر حوزه‌های آبخیز ایران کمبود اطلاعات وجود دارد (Esmaili et al., 2020). روش‌های متعددی از جمله USLE<sup>2</sup>، RUSLE<sup>3</sup>، SIMWE<sup>4</sup>، LISEM<sup>5</sup>، QUERIM<sup>6</sup>، PSIAC<sup>7</sup>، PAP/RAC<sup>8</sup> و غیره برای پیش‌بینی و ارزیابی فرسایش خاک و برنامه‌ریزی حفاظت از خاک استفاده شده است. از میان روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی، مدل‌های ارزیابی کیفی، مبتنی بر شناختی که بر عوامل مؤثر بر فرسایش تأثیر می‌گذارند نیز می‌توانند نقش مهمی در تعیین اولویت‌های مؤثر بر فرسایش و حساسیت به فرسایش داشته باشند (Najia et al., 2021 and Esmaili Gholzom et al., 2020). از میان مدل‌های کیفی موجود، می‌توان به رویکرد و مدل PAP/RAC که نمونه‌ای از مدل‌های کیفی در زمینه ارزیابی خطر فرسایش است اشاره نمود. ویژگی بارز مدل‌های کیفی نیازمندی کم به داده و اطلاعات به جهت شناسایی مناطق خطر فرسایش در غیاب اطلاعات لازم در حوزه‌های آبخیز است (Nainiva & Parichereh, 2023)؛ لذا با توجه به کمبود اطلاعات اکثر حوزه‌های آبخیز ایران و عدم قطعیت در خصوص متغیرهای ورودی مدل‌ها به‌منظور حصول اطمینان از نتیجه، هدف از این پژوهش بهره‌گیری از رویکرد و مدل کیفی PAP/RAC برای پیش‌بینی و تعیین وضعیت خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه و بررسی عدم

2. Universal Soil Loss Equation  
3. Revised Universal Soil Loss Equation  
4. The Simulation Water Erosion  
5. Lisem Integrated Spatial Earth Modeller  
6. Pacific Southwest Inter-Agency Committee  
7. Modified Pacific South-West Inter-Agency Committee  
8. Priority Actions Programme Regional Activity Centre

1. Soil Loss

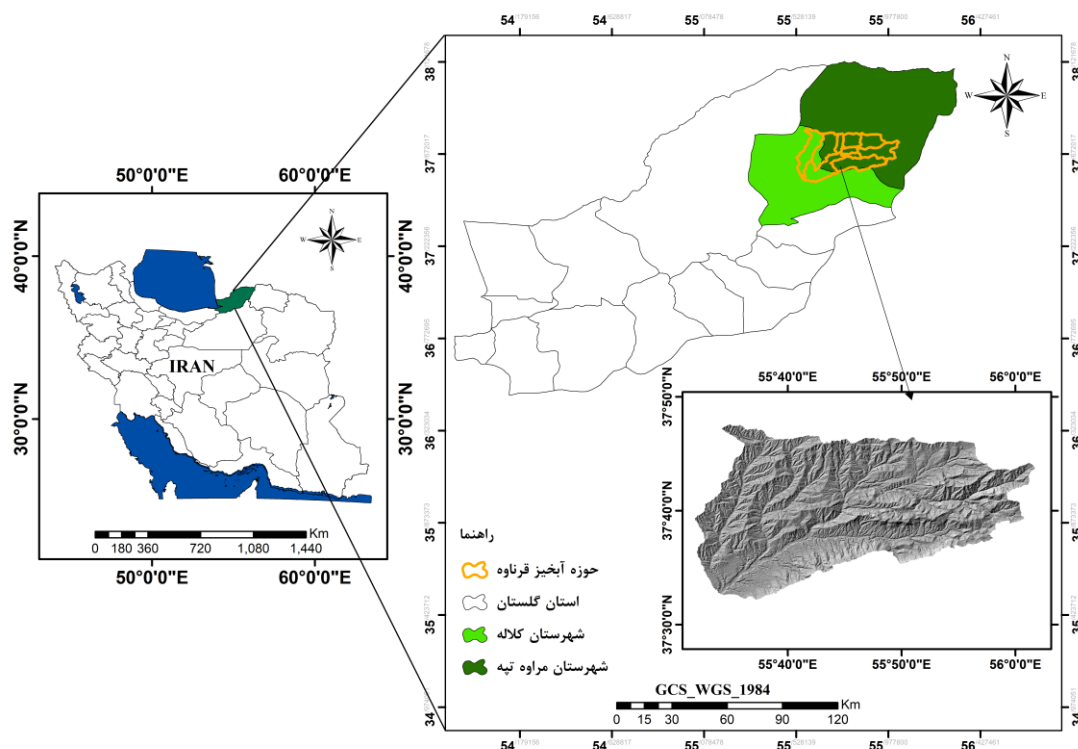
می‌شود (Saber chenari *et al.*, 2016). علی‌رغم گستردگی مساحت حوزه قرناوه، ایستگاه هیدرومتری در داخل این آبخیز وجود ندارد اما ایستگاه هیدرومتری تهر، یکی از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های هیدرومتری آبخیز گرگان‌رود و استان گلستان است و دارای طول دوره آماری و پیوستگی داده‌برداری مناسبی است (Tajiki *et al.*, 2022). ایستگاه‌های هواشناسی حوزه نیز شامل ایستگاه پیشکمر، کریم ایشان، قرناق و گلیداغ و تهر است (Tajiki *et al.*, 2022). حوزه قرناوه بخشی از زون گرگان-رشت بوده که بخش عمده این حوزه پوشیده از نهشته‌های لسی و آبرفتی است (Hafezi Moghaddas *et al.*, 2011). کاربری عمده حوزه نیز شامل مرتع و زراعت است (Saber chenari *et al.*, 2016). از دیگر ویژگی‌های این حوزه اختلاف ارتفاعی آن است که از ۱۴۷ متر تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا متغیر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

قطعیت عوامل مؤثر بر نقشه وضعیت خطر فرسایش حاصل از مدل مذکور با روش میانگین‌گیری بیزین، به‌منظور ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی بهتر نقاط در معرض خطر فرسایش آبی، به‌منظور ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌و‌خاک در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قرناوه در موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ} 30'$  تا  $37^{\circ} 45'$  عرض شمالی و  $55^{\circ} 30'$  تا  $56^{\circ} 00'$  طول شرقی واقع شده است. حوزه آبخیز قرناوه از سرشاخه‌های گرگان‌رود است و مهم‌ترین شاخه‌های فرعی این حوزه، قرناوه و شور دره هستند که پس از اتصال این انشعابات و پیوستن رودخانه‌های مادر سو و چهل‌چای در پایین‌دست حوزه، گرگان‌رود را تشکیل داده‌اند که در نهایت این رودخانه به دریای خزر تخلیه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز قرناوه در استان گلستان و کشور ایران

Figure 1 - Geographic Position of the Qharnaveh Watershed in Golestan Province, Iran

پردازش و تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌ها است (PAP/CAR, 1998c; PAP/CAR, 1998b; ) (PAP/RAC, 2000). ساختار اجرایی مدل PAP/RAC شامل سه رویکرد پیش‌بینی، توصیف و ادغام (یکپارچه‌سازی) است که به شرح ذیل است:

### ۲-۲-۱- رویکرد پیش‌بینی

این رویکرد شامل شناسایی، ارزیابی و ادغام کلیه پارامترهای فیزیکی به‌منظور تعیین فرضیه‌های اولیه و همچنین به دست آوردن اطلاعات در مورد وضعیت فعلی تخریب زمین با توجه به تأثیر بالقوه عوامل مختلفی است که فرسایش را کنترل می‌کنند (Tahouri et al., 2022). رویکرد پیش‌بینی بر اساس پردازش داده‌ها بر اساس یک توالی از هفت گام و دستورالعمل در ارزش‌گذاری نقشه‌های حاصل (جدول‌های ۱ تا ۱۰) تهیه شده است:

- گام‌های ۱ و ۲: تهیه نقشه شیب و سنگ‌شناسی.  
 گام ۳: تهیه نقشه فرسایش‌پذیری از ادغام نقشه سنگ‌شناسی و نقشه شیب.  
 گام‌های ۴ و ۵: تهیه کاربری اراضی و نقشه‌های تراکم پوشش گیاهی.  
 گام ۶: تهیه نقشه حفاظت خاک از ادغام نقشه پوشش کاربری اراضی و نقشه تراکم پوشش.  
 گام ۷: تهیه نقشه خطر فرسایش از ادغام نقشه فرسایش‌پذیری و نقشه حفاظت خاک.

### جدول ۱- الگوی طبقه‌بندی شیب در مدل PAP/RAC (Benchettouh et al., 2022)

| شیب (درصد)  | ارزش طبقه | تأثیر در فرسایش طبقه |
|-------------|-----------|----------------------|
| 0-3         | 1         | خیلی کم              |
| 3-12        | 2         | کم                   |
| 12-20       | 3         | متوسط                |
| 20-35       | 4         | زیاد                 |
| بیشتر از 35 | 5         | شدید                 |

### ۲-۲- رویکرد و مدل PAP/RAC

مرکز فعالیت منطقه‌ای / برنامه اقدامات اولویت‌دار (PAP/RAC) که در سال ۱۹۷۷ تأسیس شد، یکی از شش مرکز فعالیت منطقه‌ای برنامه اقدام مدیریت منطقه (MAP) است که خود بخشی از برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP) است. بیست‌ویک کشور مدیترانه‌ای و همچنین اتحادیه اروپا، MAP را تشکیل می‌دهند و هدف مشترک آن‌ها ایجاد محیط سالم‌تر مدیترانه‌ای است که بر اصل توسعه پایدار تکیه دارد. حوزه اصلی فعالیت PAP/RAC حمایت از کشورهای مدیترانه‌ای در بهبود مدیریت پایدار سواحل خود، به‌ویژه از طریق تصویب و اجرای پروتکل مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی در مدیترانه است. در طول دهه ۱۹۹۰، بسیاری از سازمان‌ها مانند فائو (سازمان غذا و کشاورزی)، DGCONA<sup>۱۱</sup> (اداره کل حفاظت از طبیعت) و PAP / RAC (برنامه‌های اقدام اولویت / مرکز فعالیت منطقه‌ای) برای توسعه یک روش ساده، انعطاف‌پذیر و سازگار با شرایط خاص منطقه مدیترانه همکاری کردند (Ousmana et al., 2017 and Mesrar et al., 2015). درنهایت در سال ۱۹۹۸ مدل و رویکرد PAP/RAC ارائه و با عنوان مرکز فعالیت منطقه‌ای / برنامه اقدامات اولویت‌دار مورد استفاده قرار گرفت (PAP/RAC, 1998a). مدل و رویکرد PAP/RAC حالت‌های فرسایشی، پویایی فرایندهای فرسایش آبی و ارزیابی روندهای خطر در مقیاس‌های مختلف حوزه آبخیز را ممکن می‌سازد (Tahouri et al., 2022). این مدل برای ارزیابی کیفی حساسیت به فرسایش آبی بر اساس پیوندها و وابستگی متقابل عوامل علی خطر<sup>۱۲</sup> و درک این پدیده است. ماهیت وابستگی متقابل این عوامل، مستلزم یک رویکرد کارتوگرافی برای چندین عملیات تلافی،

9. Mediterranean Action Plan

10. UN Environment

11. General Directorate for the Conservation of the Nature

12. The Causal Factors of Risk

جدول ۵- الگوی طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی در مدل  
Diani et al., 2023, Benchettouh et al., ) PAP/RAC  
(2022 and Tahouri et al., 2022

Table 5 - Land Use Classification Pattern in the  
PAP/RAC Model 1 (Diani et al., 2023,  
Benchettouh et al., 2022 and Tahouri et al., 2022)

| نوع کاربری                               | ارزش طبقه | حفاظت      |
|--|-----------|------------|
| کشت در زمین خشک یا لخت<br>مرتع و خاک لخت | 1         | خیلی کم    |
| درختکاری و احیای جنگل                    | 2         | کم         |
| کشت آبی                                  | 3         | متوسط      |
| جنگل‌ها طبیعی                            | 4         | زیاد       |
| بوته‌زار یا بیشه‌زار متراکم              | 5         | بسیار زیاد |

جدول ۶- الگوی طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی در مدل  
(Tahouri et al., 2022) PAP/RAC

Table 6 - Vegetation Cover Density  
Classification Pattern in the PAP/RAC Model  
(Tahouri et al., 2022)

| تراکم (درصد) | ارزش طبقه | توصیف تراکم طبقه |
|--------------|-----------|------------------|
| کمتر از 25   | 1         | کم               |
| 25-50        | 2         | متوسط            |
| 50-75        | 3         | زیاد             |
| بیشتر از 75  | 4         | بسیار زیاد       |

جدول ۷- ماتریس ادغام نقشه‌های کاربری اراضی و  
تراکم پوشش گیاهی (Labbaci et al., 2020)

Table 7 - Integration Matrix of the Land Use  
and Vegetation Cover Density Maps (Labbaci et  
al., 2020)

| طبقه‌بندی کاربری اراضی | طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی |   |   |   |
|------------------------|----------------------------|---|---|---|
|                        | 1                          | 2 | 3 | 4 |
| 1                      | 5                          | 5 | 4 | 4 |
| 2                      | 5                          | 5 | 4 | 3 |
| 3                      | 3                          | 2 | 1 | 1 |
| 4                      | 4                          | 3 | 2 | 1 |
| 5                      | 5                          | 4 | 3 | 2 |

در جدول ۷ اعداد یک تا پنج، به ترتیب بیانگر ارزش خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم می‌باشد.

جدول ۲- الگوی طبقه‌بندی سنگ‌شناسی در مدل  
(Diani et al., 2023) PAP/RAC

Table 2 - Lithological Classification Pattern in  
the PAP/RAC Model (Diani et al., 2023)

| نوع واحد سنگی   | ارزش طبقه | توصیف مقاومت |
|---|-----------|--------------|
| سنگ‌های فشرده غیر هوازده، کنگلومراهای بسیار سیمانی                                    | 1         | شدید         |
| سنگ یا خاک منسجم شکسته یا با هوازده متوسط   | 2         | زیاد         |
| سنگ یا خاک رسوبی که کمی یا نسبتاً فشرده شده است (سنگ، شیل، مارن و غیره)               | 3         | متوسط        |
| سنگ‌ها / یا خاک‌هایی با مقاومت ضعیف یا هوازده‌گی شدید (مارن، گچ، تخته‌سنگ رسی و غیره) | 4         | کم           |
| رسوبات سست و غیر چسبنده یا خاک و مواد آواری   | 5         | خیلی کم      |

جدول ۳- ماتریس ادغام نقشه‌های سنگ‌شناسی و شیب  
(Diani et al., 2023)

Table 3 - Integration Matrix of the Geological  
and Slope Maps (Diani et al., 2023)

| طبقات شیب | طبقه‌بندی رخساره سنگی |   |   |   |   |
|-----------|-----------------------|---|---|---|---|
|           | 1                     | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1         | 1                     | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 2         | 1                     | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 3         | 2                     | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 4         | 3                     | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 5         | 4                     | 4 | 5 | 5 | 5 |

در جدول ۳ اعداد یک تا پنج، به ترتیب بیانگر ارزش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد.

جدول ۴- الگوی طبقه‌بندی نقشه فرسایش‌پذیری  
(Diani et al., 2023)

Table 4 - Classification Pattern of the Erodibility  
Map (Diani et al., 2023)

| طبقه | توصیف طبقه        |
|------|-------------------|
| 1    | خیلی کم           |
| 2    | کم                |
| 3    | متوسط             |
| 4    | زیاد              |
| 5    | بسیار زیاد (شدید) |



به جای استفاده از تنها یک مدل پیش‌بینی می‌کند (Hatamerad *et al.*, 2022)؛ بنابراین این روش برای برآورد مدل‌ها، اطمینان از انتخاب متغیرها و مدل‌هایی که با وجود این متغیرها تعریف می‌شوند برخوردار است.

#### ۵-۲- روش انجام پژوهش

طی این پژوهش در مرحله اول (رویکرد پیش‌بینی) در گام اول ابتدا نقشه شیب حوضه از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری تهیه و بر اساس جدول ۱ ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام دوم نقشه سنگ‌شناسی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان گلستان (شیت کوه کورخود) تهیه و بر اساس جدول ۲ ارزش‌گذاری و به پنج طبقه تقسیم شد. در گام سوم نقشه فرسایش‌پذیری شیب که حاصل برهم‌نهی (ادغام) نقشه رخساره‌های سنگی و نقشه شیب مطابق جدول ۳ و ۴ ارزش‌گذاری و تهیه شد. در گام چهارم کاربری اراضی از طبقه‌بندی تصاویر مردادماه سال ۱۴۰۲ ماهواره سنتینل ۲ در محیط سامانه Google Earth Engine همراه با اطلاعات منطقه‌ای موجود تهیه و به چهار طبقه مسکونی، جنگل، مرتع و زراعت تقسیم‌بندی و مطابق جدول ۵ ارزش‌گذاری شد. در گام پنجم نقشه تراکم پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) برای بازه زمانی مردادماه سال ۱۴۰۲ محاسبه و مطابق جدول ۶ ارزش‌گذاری شد. در گام ششم نقشه حفاظت خاک از ادغام نقشه کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی مطابق جدول ۷ و ۸ ایجاد شد. در گام هفتم نقشه وضعیت خطر فرسایش پیش‌بینی شده که تأثیر عوامل شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش زمین را در نظر می‌گیرد از ادغام نقشه فرسایش‌پذیری (تلفیق شیب و سنگ‌شناسی) و نقشه حفاظت خاک مطابق جدول‌های ۹ و ۱۰ ایجاد شد. پس از ایجاد نقشه وضعیت خطر فرسایش منطقه، با رجوع به منطقه و با استفاده از عکس‌های هوایی، حالت‌های فرسایشی منطقه به جهت انجام رویکرد

ویژگی موجود در جامعه، استفاده می‌شود (Nanjundeswaraswamy and Divakar, 2021). به‌طور کلی از فرمول کوکران برای دو جامعه آماری معلوم (محدود) و نامعلوم (نامحدود) استفاده می‌شود. معادله کوکران برای جامعه نامحدود به شکل رابطه ۱ و معادله کوکران برای جامعه محدود به شکل رابطه ۲ بیان می‌گردد:

$$n_0 = \frac{Z^2 \times p \times q}{d^2} \quad (1)$$

که در آن  $n_0$  حجم نمونه،  $Z^2$  مساحت زیر ناحیه پذیرش در یک توزیع نرمال است  $(1 - \alpha)$ ،  $d$  سطح ترجیحی دقت،  $p$  نسبت تخمینی یک ویژگی در جامعه و  $q$  هم  $1-p$  است (Nanjundeswaraswamy and Divakar, 2021).

$$n_0 = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}} \quad (2)$$

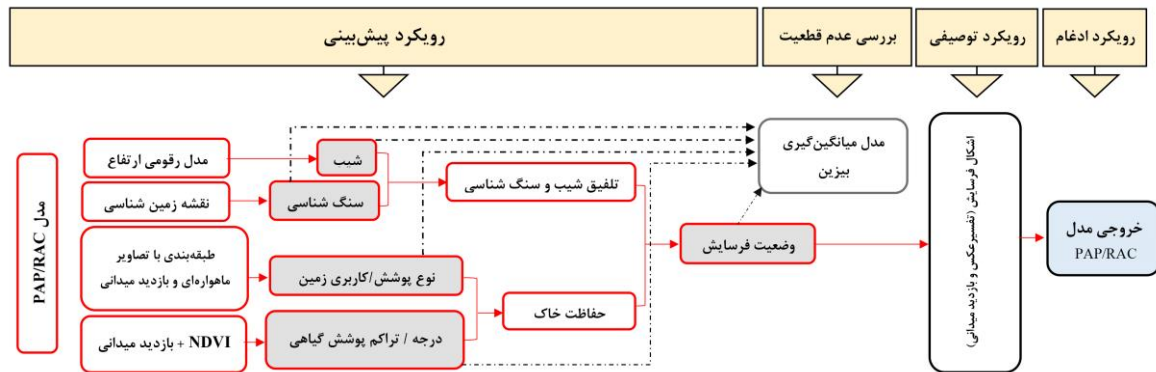
که در آن  $n_0$  حجم نمونه و  $N$  حجم جامعه است.

#### ۴-۲- روش میانگین‌گیری بیزین

روش میانگین‌گیری بیزین رویکرد جامع برای حل عدم قطعیت مدل است و این توانایی را دارد که با محاسبه توزیع‌های بعدی برای ضرایب و مدل‌ها، مقاومت نتایج را در برابر مشخصات جایگزین ارزیابی کند. این روش به‌عنوان یک روش مفید در آمار از دهه ۱۹۹۰ شناخته شد و در زمینه اقتصادسنجی گسترش یافته است (Raftery, 1995 and Draper, 1995). مدل‌سازی برای مدل‌های معمولی غیربیزی شامل انتخاب متغیرهای مستقل، توابع وابسته و تقریب بر اساس آزمون‌های واریانس است که هر ترکیب احتمالی از انتخاب‌های مختلف، مدل متفاوتی را با پاسخ‌های متفاوت تعریف می‌کند (Hatamerad *et al.*, 2022). لذا فقدان یک مدل قوی که نشان دهد کدام متغیرها باید در مدل وجود داشته باشند کاملاً آشکار به نظر می‌رسد. در میانگین‌گیری روش بیزی، دو مشکل انتخاب مدل (معیارهای جستجوی مدل و انتخاب مدل) به‌طور طبیعی در میانگین‌گیری مدل ادغام شده است که ترکیبی از اطلاعات همه مدل‌ها را

در نرم‌افزار ArcGIS نقاط تصادفی جانمایی شد و بر اساس ارزش هر نقطه در عامل‌های مدل (شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی) با استفاده از روش میانگین‌گیری بیزین میزان تأثیر هر عامل بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش آبی در محیط برنامه R مشخص شد. شکل ۲ مراحل انجام پژوهش را نمایش می‌دهد.

توصیفی مدل، برداشت و درنهایت با جانمایی حالت‌های فرسایشی برداشت‌شده بروی نقشه پیش‌بینی وضعیت خطر فرسایش، رویکرد ادغام مدل اجرا گردید. برای هدف دوم در این پژوهش، با در نظر گرفتن مساحت حوزه (هر هکتار) به‌عنوان حجم جامعه آماری و استفاده از روابط ۱ و ۲، تعداد نقاط تصادفی تعیین و با استفاده از دستور Create Random points متناسب با مرز حوزه آبخیز قرناوه،



شکل ۲- روش انجام پژوهش

Figure 2- Research Method

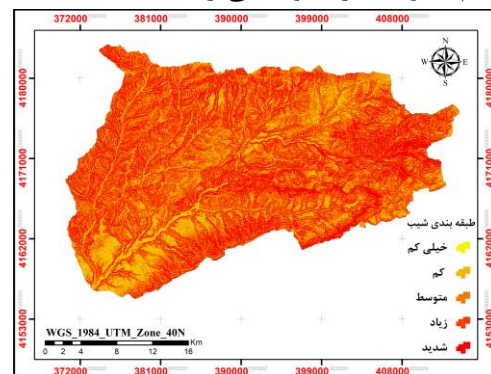
### ۳-۲- نقشه سنگ‌شناسی

شکل ۴ طبقه‌بندی واحدهای سنگ‌شناسی را نشان می‌دهد. مطابق نقشه واحدهای سنگ‌شناسی آبخیز قرناوه، کمترین و بیشترین مساحت واحد سنگی با ۵/۲۴ و ۵۹۰/۱۱ کیلومترمربع، به ترتیب مربوط به سنگ‌آهک و لس است. همچنین مطابق نقشه واحدهای سنگی از مساحت کل آبخیز قرناوه مطابق دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۶۵۳/۵۰، ۳۴/۸۱، ۹۰/۷۳ و ۵/۲۴ کیلومترمربع به ترتیب دارای مقاومت خیلی کم، کم، متوسط و زیاد است.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- نقشه شیب

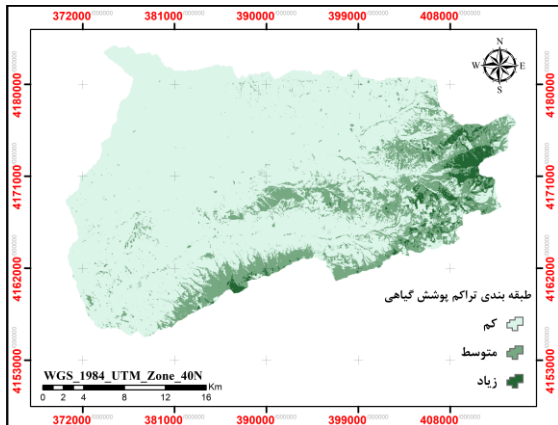
شکل ۳ نقشه طبقات شیب را نشان می‌دهد. مطابق نقشه شیب آبخیز قرناوه، حداقل، حداکثر و میانگین شیب به ترتیب صفر، ۱۳۵/۶۲ و ۲۴/۲۵ درصد است که از مساحت کل این حوضه مطابق دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۹/۸۳، ۱۴۱/۳۰، ۱۸۲/۷۸، ۲۸۵/۵۵ و ۱۶۰/۸۳ کیلومترمربع به ترتیب دارای شیب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است.



شکل ۳- شیب آبخیز قرناوه

Figure 3- Slope of Qharnaveh Watershed

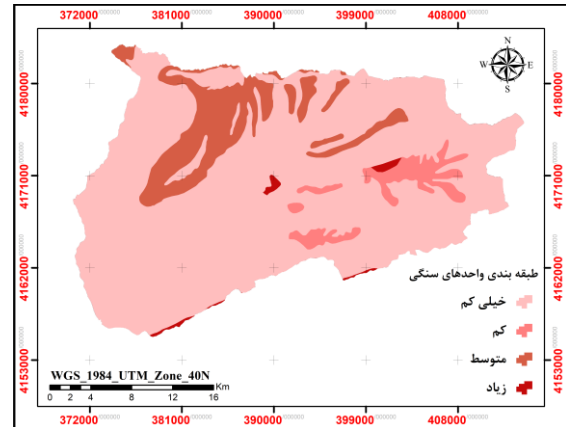
مطابق شرایط منطقه ۰/۲۹- تا ۰/۱۵ دسته کم، ۰/۱۵ تا ۰/۳۰ دسته متوسط و ۰/۳۰ تا ۰/۴۵ دسته زیاد در نظر گرفته شد که از مساحت کل آبخیز قرناوه مطابق دستورالعمل مدل، ۶۳۳/۷۵، ۱۳۲/۰۳ و ۲۰/۷۵ کیلومترمربع به ترتیب دارای تراکم کم، متوسط و زیاد است.



شکل ۶- تراکم پوشش گیاهی آبخیز قرناوه  
Figure 6- Vegetation Cover Density of Qharnaveh Watershed

### ۳-۵- نقشه فرسایش پذیری

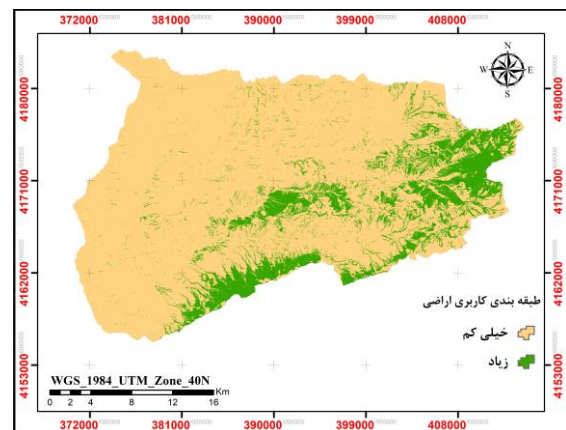
شکل ۷ نقشه فرسایش پذیری (تلفیق شیب و سنگ‌شناسی) آبخیز قرناوه را نشان می‌دهد، این نقشه گویای این است که از مساحت کل این حوضه، ۱/۶۶، ۲۳/۱۲، ۱۴۹/۶۸، ۱۹۸/۱۵ و ۴۰۷/۶۸ کیلومترمربع به ترتیب دارای فرسایش پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است که ۶۰۵/۸۳ کیلومترمربع از مساحت حوضه در فرسایش پذیری زیاد و خیلی زیاد واقع است.



شکل ۴- واحدهای سنگی آبخیز قرناوه  
Figure 4- Geological Units of Qharnaveh Watershed

### ۳-۳- نقشه کاربری اراضی

آبخیز قرناوه دارای کاربری‌های اراضی زراعت، باغات، مراتع، مسکونی و جنگل است. مطابق نقشه کاربری اراضی (شکل ۵) از مساحت کل آبخیز قرناوه مطابق دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۶۶۰/۲۴ و ۱۲۳/۹۹ کیلومترمربع به ترتیب دارای نقش حفاظتی خیلی کم و زیاد است.

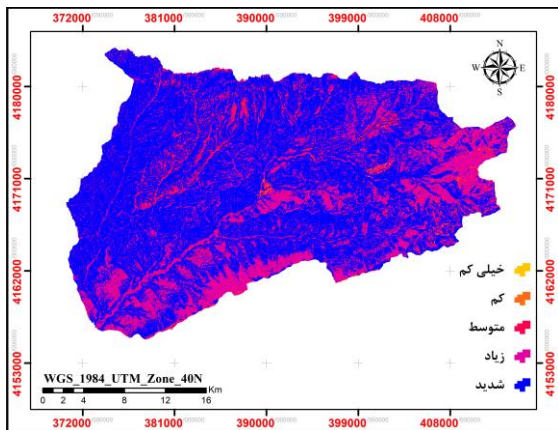


شکل ۵- کاربری اراضی آبخیز قرناوه  
Figure 5 - Land Use of the Qharnaveh Watershed

### ۳-۴- نقشه تراکم پوشش گیاهی

شکل ۶ طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مطابق نقشه تراکم پوشش گیاهی، دامنه تغییرات شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در تابستان سال ۱۴۰۲، ۰/۲۹- تا ۰/۴۵ است که

شکل ۹ نقشه وضعیت خطر فرسایش آبی حوضه را نشان می‌دهد. مساحت طبقه‌بندی وضعیت فرسایش حوضه در جدول ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۹- وضعیت خطر فرسایش آبی آبخیز قرناوه

Figure 9- Erosion Hazard Status the Qharnaveh Watershed

بررسی نتایج جدول ۱۱ گویای این است که ۷۴۱/۸۱ کیلومترمربع از مساحت حوضه در معرض خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد است.

جدول ۱۱- مساحت طبقات خطر فرسایش و رسوب‌زایی

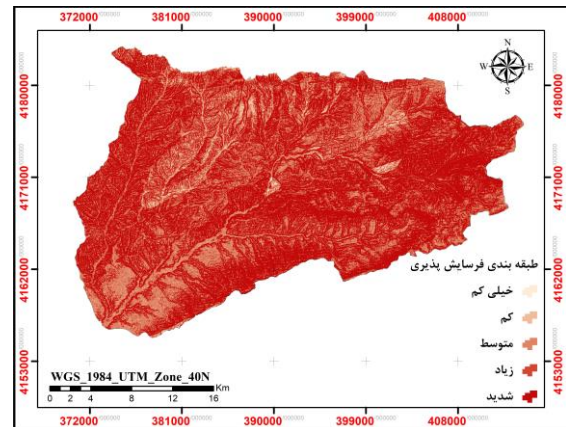
حوزه آبخیز قرناوه

Table 11 - Area of Erosion and Sedimentation Hazard Classes in the Qharnaveh watershed

| طبقه‌بندی | میزان خطر | مساحت (کیلومترمربع) |
|-----------|-----------|---------------------|
| 1         | خیلی کم   | 0.19                |
| 2         | کم        | 3.34                |
| 3         | متوسط     | 34.96               |
| 4         | زیاد      | 227.28              |
| 5         | خیلی زیاد | 514.53              |

### ۳-۸- نقاط تصادفی

با در نظر گرفتن هر هکتار از مساحت ۷۹۰۰۰ هکتاری آبخیز قرناوه به‌عنوان یک نمونه از جامعه، حجم نمونه‌های تصادفی ۳۸۲ نقطه تعیین شد که شکل ۱۰ موقعیت نقاط تصادفی را به‌منظور بررسی عدم قطعیت نشان می‌دهد.

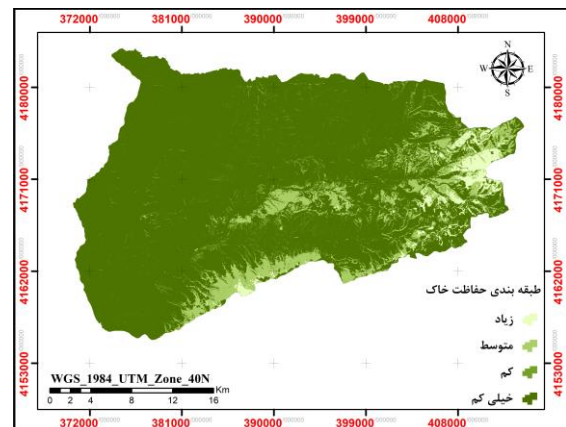


شکل ۷- فرسایش‌پذیری آبخیز قرناوه

Figure 7- Erodibility of Qharnaveh Watershed

### ۳-۶- نقشه حفاظت خاک

مطابق نقشه حفاظت خاک آبخیز قرناوه (شکل ۸) از مساحت کل این حوضه، ۶۵۹/۲۵، ۲۵/۱۸، ۸۰/۰۵ و ۱۹/۷۰ کیلومترمربع به ترتیب دارای حفاظت خیلی کم (خیلی ضعیف)، کم (ضعیف)، متوسط، زیاد (خوب) و خیلی زیاد (خیلی خوب) است که ۹۹/۷۵ کیلومترمربع از مساحت حوضه در حالت حفاظت متوسط تا زیاد واقع است.

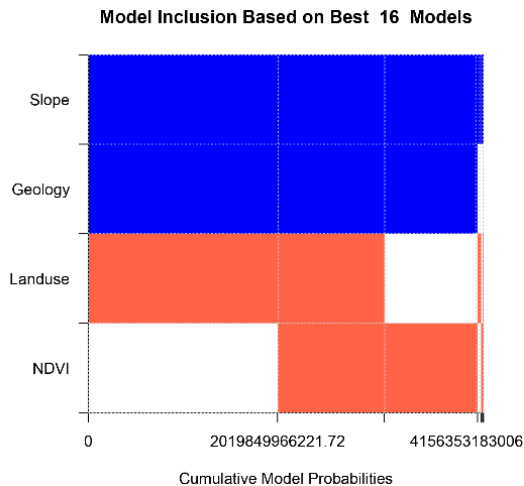


شکل ۸- حفاظت خاک آبخیز قرناوه

Figure 8- Soil Conservation of Qharnaveh Watershed

### ۳-۷- نقشه وضعیت خطر فرسایش آبی

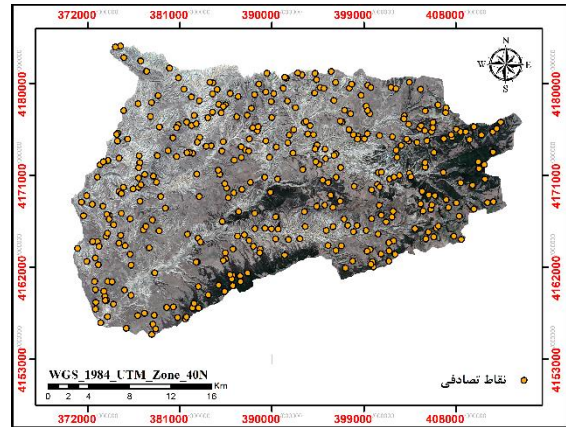
جهت تهیه نقشه وضعیت خطر فرسایش آبی آبخیز قرناوه، نقشه حفاظت خاک با نقشه فرسایش‌پذیری ادغام و سپس متناسب با جدول ۱۰ طبقه‌بندی شد.



شکل ۱۱- نمودار چگالی احتمال حضور در الگو  
Figure 11 - Probability Density Plot in the Pattern

### ۱۰-۳- بحث

بررسی نتایج مدل PAP/RAC گویای این است که ۷۴۱/۸۱ کیلومتر مربع از مساحت حوضه در معرض خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد است که با توجه به بررسی میزان تأثیر ورودی‌های مدل بر روی خروجی نهایی آن با استفاده از رویکرد میانگین بیزین (BMA)، شیب، سنگ‌شناسی، تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی به ترتیب دارای تأثیر زیاد تا کم می‌باشند. نتیجه مدل میانگین بیزین به‌طور کلی اعلام می‌دارد که ارزش‌گذاری در زمینه عامل‌های مدل PAP/RAC به‌ویژه سنگ‌شناسی و شیب بایستی با دقت بیشتری انجام گیرد چراکه نتایج خروجی مدل تأثیرپذیری بالایی را نسبت به این دو عامل دارند. همچنین مقایسه نتایج مدل PAP/RAC با مطالعه Saber chenari و همکاران (۲۰۱۶) که ۶۸ درصد مساحت حوضه را در طبقه خطر زیاد و بسیار زیاد با مدل Dempster-Shafer برآورد نمودند، نشان می‌داد که تشابه بالایی در نتایج نهایی وجود دارد. مطالعه Erfanian و همکاران (۲۰۱۵) در تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک با مدل RUSLE و استفاده از منطق فازی نشان داد با صحت ۷۶ درصدی آنان در اعلام خطر زیاد فرسایش، نتایج این مطالعه نیز همچون نتایج مدل آنان، تأکید بر خطر زیاد فرسایش است. مطالعه Tajiki و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی



شکل ۱۰- موقعیت نقاط تصادفی حوزه آبخیز قرناوه  
Figure 10 - Locations of Randomly Selected Points in the Qharnaveh Watershed

### ۹-۳- بررسی عدم قطعیت

شکل ۱۱ احتمال حضور در الگو را نشان می‌دهد. تفسیر خروجی مدل میانگین بیزین نیازمند درک بالایی است چراکه تعداد و نحوه تعریف متغیرها می‌توانند بر روی خروجی مدل تأثیرگذار باشد. در تفسیر خروجی مدل میانگین بیزین (شکل ۱۱)، رنگ آبی نشان‌دهنده رابطه مثبت، رنگ قرمز نشان‌دهنده رابطه منفی و رنگ سفید نشان‌دهنده عدم حضور در مدل است. همان‌طور که از شکل ۱۱ مشخص است شیب و سنگ‌شناسی به‌عنوان رابطه مثبت در مدل معرفی شده‌اند که شیب چگالی بیشتری را با توجه به مدل‌های توسعه‌یافته نشان می‌دهد. همچنین کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی دارای رابطه منفی در نتیجه مدل است؛ اما در اینجا بایستی توجه نمود که تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی دارای رابطه مثبت است و به علت اینکه ارزش‌گذاری آن کاملاً عکس ارزش‌گذاری نقشه خطر فرسایش است به همین دلیل مدل رابطه را منفی معرفی نموده است؛ اما به‌طور کلی از شکل ۱۱ می‌توان استدلال نمود که شیب و سنگ‌شناسی دارای تأثیر بسیار زیادی در نتیجه پیش‌بینی مدل PAP/RAC است.

مدل مذکور با روش میانگین‌گیری بی‌زین، به‌منظور ارزیابی، شناسایی و اولویت‌بندی بهتر نقاط در معرض خطر فرسایش آبی پرداخته است. نتایج پژوهش بیانگر پتانسیل بالای این حوضه در فرسایش و هدررفت خاک با توجه به عامل‌های مدل کیفی PAP/RAC است و همچنین نتایج بررسی عدم قطعیت گویای اهمیت شیب و سنگ‌شناسی در خروجی مدل است؛ لذا با توجه به اهمیت ارزیابی نقاط مستعد فرسایش پیشنهاد می‌شود، ارزش‌گذاری (رتبه‌دهی) در زمینه عامل‌های مدل PAP/RAC با دقت بیشتری انجام گیرد و در صورت امکان دستورالعمل‌های مدل متناسب با شرایط کشور ایران تهیه گردد تا ارائه راهبردهای مؤثر حفاظت آب‌و خاک در راستای کاهش روند و توسعه فرسایش خاک با توجه به نتایج مدل، مؤثرتر واقع گردد.

#### سپاسگزاری

این تحقیق در قالب بخشی از رساله دکتری نویسنده اول به‌عنوان دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت گرفته است.

#### References

- Amore, E., Modica, C., Nearing, M. A. & Santoro, V. C. (2004). Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian Watersheds. *Journal of Hydrology*, 293(1-4), 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.018>
- Benchettouh, A., Jebari, S., Kouri, L. & Kherchi, F. (2022). Mapping of soil erosion using the PAP/RAC directive in the Seklafa catchment, Djebel Amour region (Saharan Atlas-Algeria). *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 8(2), 2419-2428.
- Diani, K., Ettazarini, S., Hahou, Y., El Belrhiti, H., Allaoui, W., Mounir, K. & Gourfi, A. (2023). Identification of soil erosion sites in semiarid zones: Using GIS, remote sensing, and PAP/RAC model. *In Handbook of Hydroinformatics*, 169-183.

اثر بخشی اقدامات آبخیزداری بر فرسایش و رسوب‌دهی نیز بیانگر تأیید کارایی مدل در برآورد وضعیت فرسایش منطقه بود؛ اما بر اساس مطالعه Elbadaoui و همکاران (۲۰۲۳) در ادغام مدل پتانسیل فرسایش (EPM) و دستورالعمل‌های PAP/RAC و بیان اینکه مدل EPM می‌تواند برای طراحی اقدامات مؤثر کنترل فرسایش استفاده شود و مدل PAP/RAC می‌تواند برای توسعه یک استراتژی جامع برای مدیریت پایدار حوضه استفاده شود می‌توان اعلام داشت مدل PAP/RAC بهترین و ساده‌ترین مدل در جهت برآورد خطر فرسایش آبی است که با در نظر گرفتن نتایج بررسی عدم قطعیت عامل‌های مورد استفاده در این مدل، بایستی جهت برآورد بهتر در ارزش‌گذاری عامل شیب و سنگ‌شناسی دقت بالایی به خرج داد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با بهره‌گیری از رویکرد و مدل کیفی PAP/RAC (اولین بار در کشور ایران) به پیش‌بینی و تعیین وضعیت خطر فرسایش آبی حوزه آبخیز قرناوه و بررسی عدم قطعیت عوامل مؤثر بر نقشه خطر فرسایش

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821961-4.00003-8>

- Draper, D. (1995). Assessment and propagation of model uncertainty. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 57(1), 45-70.

<https://doi.org/10.1111/j.25176161.1995.tb02015.x>

- Esmaili Gholzom, H., Ahmadi, H., Moeini, A. & Motamed Vaziri, B. (2020). Erosion risk assessment and identification of susceptibility lands using the ICONA model and RS and GIS techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-18.

<https://doi.org/10.5194/nhess-2020-85.2020>

- Elbadaoui, K., Mansour, S., Ikirri, M., Abdelrahman, K., Abu-Alam, T. & Abioui, M. (2023). Integrating Erosion Potential Model (EPM) and PAP/RAC Guidelines for Water Erosion Mapping and Detection of

- Vulnerable Areas in the Toudgha River Watershed of the Central High Atlas, Morocco. *Land*, 12(4), 837. <https://doi.org/10.3390/land12040837>
- Erfanian, M., Ghaharahmani Saatloo, P. & Saadat, H. (2015). Preparation of soil erosion potential risk map using fuzzy logic in Gharnaveh Watershed, *jwmseir*, 23(7), 43-52. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1392.7.23.3.1> (In Persian)
- Hafezi Moghaddas, N., Nikudel, M. & Bahrami, K. (2011). Evaluation of collapsibility of loess deposits of Gharnaveh catchment in north of Kalale, Golestan province. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 4 (Number 1 & 2), 39-46. (In Persian)
- Hassanzadeh, H. (2020). *Estimation of erosion and destruction of the catchment area of Bidovaz dam using EPM model and GIS software*, Master's thesis. Bojnord University. (In Persian)
- Hatamerad S, Haghghat J, Asgharpur H. & Adrangi B. (2022). Evaluation of macro factors affecting stock price index: Bayesian averaging approach. *qjefp*; 10 (37), 73-111. (In Persian)
- Hembram, T. K. & Saha, S. (2020). Prioritization of sub-watersheds for soil erosion based on morphometric attributes using fuzzy AHP and compound factor in Jainti River Watershed, Jharkhand, Eastern India. *Environment, Development and Sustainability*, 22(2), 1241-1268. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0247-3>
- Labbaci, A., Marghadi, S., Laaribya, S., & Moukrim, S. (2020). Integrating Sentinel-2 Data and PAPCAR Model to Map Water Erosion: Case of Beni Boufrah Watershed. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.4314/rjeste.v3i1.4S>
- Mesrar, H., Sadiki, A., Navas, A., Faleh, A., Quijano, L. & Chaaouan, J. (2015). Modélisation de l'érosion hydrique et des facteurs causaux, Cas de l'oued Sahla, Rif Central, Maroc. *Zeitschrift für geomorphologie*, 59(4), 495-514.
- Nainiva, S. P. & Parichereh, M. (2023). Erosion Hazard classification using the Fargas qualitative model in the Chehelgazi Sub-Watershed of Kurdistan province. *Integrated Watershed Management*, 3(1), 89-99. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.1995873.1068> (In Persian)
- Nainiva, S. P. & Satarvand, A. (2023). Evaluation and estimation of the intensity of soil erosion under Chehelgazi Sub-Watershed of Kurdistan province. *Extension and Development of Watershed Management*, 10(39), 38-47. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.26454777.1401.10.39.8.8> (In Persian)
- Najia, F., Bouchta, E., Mohamed, M., Benzougagh, B. & El Brahimi, M. (2021). Evaluation of water erosion by mapping and application of the PAP/RAC method in the perifer of ouazzane. *Ecology, Environnement and Conservation*, 12.
- Nanjundeswaraswamy, T. S. & Divakar, S. (2021). Determination of sample size and sampling methods in applied research. *Proceedings on engineering sciences*, 3(1), 25-32. <https://doi:10.24874/PES03.01.003>
- Nguyen, P., Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T., Huynh, P., Braithwaite, D., Updegraff, G. & Hsu, K. (2019). The CHRS Data Portal, an easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. *Scientific data*, 6(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.296>
- Ousmana, H., El Hmadi, A., Essahlaoui, A., Bekri, H. & El Ouali, A. (2017). Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de La Terre*, 39, 103-119.
- PAP/CAR (1998a). Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP-S/PP/GL.1.split, centre d'activités régionales pour le programme d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO.
- PAP/CAR. (1998b). Directives pour l'approche int\_egr\_ee au d\_veloppement, \_a la gestion et \_a l'utilisation des ressources en eau, centre d'activit\_es r\_egionales pour le

- Programme d'actions prioritaires [rapport]. - [s.l.]: PAP-3/1998/G.1. Split, 1998a.
- PAP/CAR. (1998c). Rapport de l'Atelier sur l'état de l'érosion des sols par la pluie dans les zones côtières méditerranéennes, [Rapport]. - Murcie: PAP-8/W.1/1, 1998.
- PAP/RAC. (2000). National reports on problems and practices of erosion control management in the mediterranean region [rapport]. [s.l.]: PAP/RAC, split, 2000.
- Raftery, A. E. (1995). Bayesian model selection in social research. *Sociological methodology*, 111-163. <https://doi.org/10.2307/271063>
- Refahi, H. (2000). *Water erosion and its control*, Tehran University Publications. (In Persian)
- Saber chenari, K., Bahremand, A., Sheikh, V. B. & Komaki, C. B. (2016). Gully Erosion Hazard Zoning Using of Dempster-Shafer Model in The Gharnaveh Watershed, Golestan Province. *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(2), 219-231. <https://doi:10.22059/ije.2016.59663>. (In Persian)
- Tahouri, J., Sadiki, A., Karrat, L. H., Johnson, V. C., weng Chan, N., Fei, Z. & Te Kung, H. (2022). Using a modified PAP/RAC model and GIS-for mapping water erosion and causal risk factors: Case study of the Asfalou watershed, Morocco. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 254-272. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.07.003>
- Tajiki M, Najafinejad A, Gholipour M, Siroosi H, Sadodin A, Sheikh V B, et al. (2022). Efficiency of Watershed Management Measures on Erosion and Sedimentation of Qarnaveh watershed, Golestan Province. *jwmr*. 13(26), 163-177. <https://doi:10.52547/jwmr.13.26.163>. (In Persian)
- Zangiabadi, M., Rangavar, A., Rafahi, H. G., Shorafa, M. & Bihamta, M. R. (2010). Investigation of the most Important Factors Affecting on Soil Erosion in Kalat Semi-Arid Rangelands. *Water and Soil*, 24(4), . doi: 10.22067/jsw.v0i0.3894. (In Persian)

## Integration of multi-criteria decision models and recreation opportunity spectrum in the mapping of recreational ecosystem service in Semnan Province

Fateme Mohammadyari<sup>1\*</sup>, Ardavan Zarandian<sup>2</sup>, Roya Mousazadeh<sup>3</sup>

1. Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2. Research Group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran.

3. Research Group of Environmental Economics, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD) Department of Environment, Tehran, Iran.

\* Corresponding author: [mohammadyari.f@sku.ac.ir](mailto:mohammadyari.f@sku.ac.ir)

(Received: 13 January 2024    Revised: 24 February 2024    Accepted: 29 February 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** With the rapid development of society, economy and population growth, the impact of human activities on ecosystems is increasing, which has caused the relationship between human well-being and ecosystem to be in the spotlight. To that end, ecosystem services as an essential element for human development and survival emphasizes the benefits that natural ecosystems provide to humans. These services are divided into four categories based on the Millennium Ecosystem Assessment (MEA): provision, regulation, support and cultural. Cultural ecosystem services are important component of ecosystem services that refer to intangible benefits of the human beings from ecosystems and play an essential role in enhancing human well-being. Cultural ecosystem services can include the use of natural resources directly or indirectly.

**Materials and Methods:** The present study was conducted with the aim of modeling recreation services in Semnan province. For this purpose, the integration of the analytic hierarchy process (AHP) of one as the multicriteria decision-making methods and the recreation opportunity spectrum (ROS) model was used. In the ROS model, recreational service is estimated based on recreation potential index and accessibility- remoteness index. In the recreation potential index, three elements: the degree of naturalness, the protected regions, and the attractiveness of water bodies, and in the accessibility- remoteness index, the distance from roads and human-made areas were mapped. In this research, Sentinel-2 satellite images were used to prepare the land use map of 2021. Then, using the maximum likelihood algorithm, land use maps were prepared in 18 classes.

**Results and Discussion:** According to the land use map, pastures, barren lands and rainfed agriculture have the highest levels of land use in the studied area with 23.57, 22.27 and 17.31% respectively. After that, waterbodies, salt marshes and irrigated agriculture are the dominant land uses with 15.65, 10.98 and 7.84%, respectively. It is worth mentioning that the smallest area of the region is dedicated to wetlands and urban uses. Based on the results, Forest and pasture areas have the highest potential in providing recreation services in the study area. It was also seen that, the third category (low provision- difficult access) and the seventh category (high provision- easy access) respectively have the highest and lowest land surface coverage in terms of the provision of recreational ecosystem services in the province. Overall, the results showed that recreation ecosystem service is affected by various factors caused by human development, especially land cover/use changes. Considering the concentration of both variables of ecosystem service provision and urban and industrial development in the northern half of the province, it is vital to pay attention to the conflicts between the development and management of ecosystem services. If this is ignored, in addition to intensifying the instability of development, the destruction of natural assets of the province, especially forests and pastures, which are the main source of provision of various ecosystem services such as recreation, will intensify.

**Conclusion:** In general, the results indicate that most of the places in the province have a medium to low ability to provide recreation services. Considering that recreational potential is important for the well-being of urban populations, increasing urban parks and green infrastructure areas is a useful way to improve the quality of the recreational experience. Therefore, urban development strategies should increasingly aim to strengthen the natural and artificial network of green space, diversity of plant compositions and biomass structure, and proper management of green space. This is necessary for the design of green space with regard to maximizing ecosystem services in Semnan province.

**Keywords:** Ecosystem services, Recreation, Analytic Hierarchy Process, land use, Semnan

**Citation:** Mohammadyari, F., Zarandian, A., & Mousazadeh, R. (2024). Integration of multi-criteria decision models and recreation opportunity spectrum in the mapping of recreational ecosystem service in Semnan Province. *Integrated Watershed Management*, 4(2), 35-49. doi: 10.22034/iwm.2024.2020228.1125

### 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>).





## تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و طیف فرصت‌های تفرجی در نقشه‌برداری خدمت

### اکوسیستمی تفرج در استان سمنان

فاطمه محمدیاری<sup>۱\*</sup>، اردوان زرندیان<sup>۲</sup>، رویا موسی‌زاده<sup>۳</sup>

۱. گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲. گروه پژوهشی ارزیابی و مخاطرات محیط‌زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران

۳. گروه پژوهشی اقتصاد محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: mohammadyari.f@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

#### چکیده مبسوط

**مقدمه:** با توسعه سریع جامعه، اقتصاد و رشد جمعیت، تأثیر فعالیت‌های انسانی بر اکوسیستم‌ها رو به افزایش است که باعث شده رابطه بین رفاه انسان و اکوسیستم در کانون توجه قرار گیرد. در این راستا، خدمات اکوسیستم به‌عنوان عنصر اساسی برای توسعه و بقای انسان، به مزایایی که اکوسیستم‌های طبیعی به انسان‌ها ارائه می‌دهند، تأکید دارد. این خدمات بر اساس ارزیابی اکوسیستم هزاره به چهار دسته: تأمین، تنظیم، حمایت و فرهنگی تقسیم می‌شود. خدمات اکوسیستم فرهنگی جزء مهمی از خدمات اکوسیستمی است که به مزایای ناملموس انسان از اکوسیستم‌ها اشاره دارد و نقش اساسی در افزایش رفاه انسان ایفا می‌کند. خدمات اکوسیستم فرهنگی می‌تواند شامل استفاده از منابع طبیعی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم باشد.

**روش انجام پژوهش:** مطالعه حاضر با هدف مدل‌سازی خدمت تفرج در استان سمنان انجام شد. بدین منظور از تلفیق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل طیف فرصت‌های تفرجی (ROS) استفاده شد. در مدل ROS، خدمت تفرج بر اساس شاخص پتانسیل تفرجی و شاخص دسترسی - دوری برآورد می‌شود. در شاخص پتانسیل تفرجی، سه عنصر درجه طبیعی بودن، مناطق حفاظت‌شده و جذابیت آب و در شاخص دسترسی - دوری فاصله از جاده‌ها و مناطق انسان‌ساخت نقشه‌برداری شد. در این پژوهش برای تهیه نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۰، از تصاویر ماهواره سنتیل ۲ استفاده شد. سپس با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال نقشه کاربری اراضی در ۱۸ کلاس تهیه شد.

**نتایج و بحث:** بر اساس نقشه کاربری اراضی، مراتع، اراضی بایر و زراعت دیم به ترتیب با ۲۳/۵۷، ۲۲/۲۷ و ۱۷/۳۱ درصد، بیشترین سطوح پوشش/کاربری زمین را در محدوده مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. پس‌از آن پهنه‌های آبی، شوره‌زار و زراعت آبی به ترتیب با ۱۵/۶۵، ۱۰/۹۸ و ۷/۸۴ درصد کاربری‌هایی با پوشش غالب هستند. شایان‌ذکر است که کمترین مساحت منطقه به پوشش تالابی و کاربری شهری اختصاص دارد. بر اساس نتایج، مناطق جنگلی و مرتعی بالاترین پتانسیل در تدارک خدمت تفرج را در منطقه مورد مطالعه دارند. همچنین مشاهده شد که طبقه سوم (تأمین کم - دسترسی سخت) و طبقه هفتم (تأمین بالا - دسترسی آسان) به ترتیب بیشترین و کمترین پوشش سطح زمین از نظر خدمت اکوسیستمی تفرج در استان را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع، نتایج نشان داد که خدمت اکوسیستمی تفرج تحت تأثیر عوامل مختلف ناشی از توسعه انسانی به‌ویژه تغییرات پوشش/کاربری زمین است. با توجه به تمرکز هر دو متغیر تدارک خدمات اکوسیستمی و توسعه شهری و صنعتی در نیمه شمالی استان، توجه به تعارضات و تضادهای بین توسعه و مدیریت خدمات اکوسیستمی، حیاتی است. در صورت نادیده گرفتن این امر، علاوه بر تشدید ناپایداری توسعه، تخریب دارایی‌های طبیعی استان به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع که منبع اصلی تدارک انواع خدمات اکوسیستمی مانند تفرج هستند، شدت می‌یابد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی، نتایج حاکی از این است که بیشتر مکان‌های استان قابلیت متوسط تا کم برای عرضه خدمت تفرج را دارند. با توجه به اینکه پتانسیل تفرجی برای رفاه جمعیت شهری مهم است، افزایش پارک‌های شهری و مناطق زیرساختی سبز راهی مفید برای ارتقاء کیفیت تجربه تفرج است؛ بنابراین، استراتژی‌های توسعه شهری باید به‌طور فزاینده‌ای با هدف تقویت شبکه طبیعی و مصنوعی فضای سبز، تنوع ترکیبات گیاهی و ساختار زیست‌توده و مدیریت صحیح فضای سبز باشد. این امر برای طراحی فضای سبز با توجه به حداکثر رساندن خدمات اکوسیستمی در استان سمنان ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** خدمات اکوسیستم، تفرج، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، کاربری اراضی، سمنان

**استناد:** محمدیاری، ف.، زرندیان، ا.؛ موسی‌زاده، ر. (۱۴۰۳). تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و طیف فرصت‌های تفرجی در نقشه‌برداری خدمت اکوسیستمی تفرج در استان سمنان. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*، ۴(۲)، ۳۵-۴۹.

#### 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 توسعه سریع جامعه، اقتصاد و رشد جمعیت، تأثیر فعالیت‌های انسانی بر اکوسیستم‌ها رو به افزایش است که باعث شده رابطه بین رفاه انسان و اکوسیستم در کانون توجه قرار گیرد (Shi *et al.*, 2024). در این راستا، خدمات اکوسیستم به‌عنوان عنصر اساسی برای توسعه و بقای انسان (Han *et al.*, 2020)، به مزایایی که اکوسیستم‌های طبیعی به انسان‌ها ارائه می‌دهند، تأکید دارد (Quevedo and Kohsaka, 2024). این خدمات بر اساس ارزیابی اکوسیستم هزاره به چهار دسته، الف) تأمین (غذا، آب شیرین و...؛ ب) تنظیم (تغییرات اقلیم، ترسیب و ذخیره کربن و...؛ ج) حمایت (ایجاد زیستگاه برای بسیاری از گونه‌ها، حفظ تنوع ژنتیکی جهان و...؛ د) فرهنگی (مزایای زیبایی‌شناختی، معنوی یا تفریحی و...) تقسیم می‌شود (Kosanic *et al.*, 2023).

خدمات اکوسیستم فرهنگی جزء مهمی از خدمات اکوسیستمی است که به مزایای ناملموس انسان از اکوسیستم‌ها اشاره دارد و نقش اساسی و بی‌بدیل در افزایش رفاه انسان ایفا می‌کنند (Guo *et al.*, 2023). خدمات اکوسیستم فرهنگی می‌تواند شامل استفاده از منابع طبیعی به‌طور مستقیم (لذت بردن از پیاده‌روی یا تماشای مناظر و...) یا غیرمستقیم (میراث فرهنگی و ارزش معنوی فضاهای سبز و...) باشد (Sen and Guchhait, 2021). برخلاف سایر خدمات اکوسیستم، مانند ترسیب کربن و تصفیه آب یا هوا که نیاز به دانش علمی برای اثبات دارند، این خدمات مستقیماً توسط افراد از هر طبقه‌ای که با طبیعت و ارتباط نزدیک بین شهروندان در تماس هستند، تجربه و به‌طور مستقیم درک می‌شود. درواقع طبیعت فرصتی ارزشمند برای افزایش آگاهی از چند کارکردی و به‌هم‌پیوستگی خدمات مختلف اکوسیستم و اهمیت آن‌ها برای کیفیت زندگی ارائه می‌دهد (Márquez *et al.*, 2023). مشخص شده است که این خدمات از طریق جنبه‌های

زیبایی‌شناختی، تفریحی، آموزشی، فرهنگی و معنوی تجربه انسانی به سلامت جسمی و روانی انسان‌ها کمک می‌کند (Martín-López *et al.*, 2019). خدمات اکوسیستم فرهنگی به‌عنوان پیوندی بین جامعه و طبیعت، اغلب درک عمومی و حفاظت از اکوسیستم‌ها را ترویج می‌کند و به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا ارزش افزوده فرهنگی بالقوه را در نظر بگیرند، از تعصب در فرآیندهای مدیریت اکوسیستم اجتناب کنند و درنهایت مدیریت بهینه اکوسیستم را برای تضمین توسعه اجتماعی-اقتصادی پایدار ارتقا دهند (Wang *et al.*, 2024)؛ بنابراین، به‌منظور دستیابی به پایداری، برای تصمیم‌گیرندگان مهم است که ویژگی‌های فضایی این خدمات را برای مقابله با تخریب اکوسیستم‌ها و بهبود رفاه انسان در سراسر جهان در نظر بگیرند (Teoh *et al.*, 2019). باین‌حال، ارزیابی این خدمات به دلیل ویژگی‌های ذهنی قوی و ناملموس بودن آن‌ها و روابط پیچیده بین ارزش‌های بیوفیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، بسیار دشوار است و چالش‌هایی در ارزیابی آن‌ها وجود دارد (Wang and Hayashi, 2023; Gugulica and Burghardt, 2023).

روش‌های ارزیابی این خدمات در حال حاضر به طیفی از روش‌ها، از جمله مدل‌سازی بیوفیزیکی متکی است. مدل SolVES (Huang *et al.*, 2023)، مدل تفرج InVEST (González-García *et al.*, 2020)، شاخص‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (Grzyb, 2024) و مدل طیف فرصت‌های تفرجی (ROS) (Aşılıoğlu and Çay, 2023)؛ از پرکاربردترین مدل‌ها در نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم فرهنگی هستند. اگرچه خدمات اکوسیستمی فرهنگی با استفاده از مدل‌های اشاره‌شده در ایران در مطالعات معدودی مانند Chaharahy و همکاران (۲۰۲۲) مدل‌سازی شده است؛ اما در مطالعات خارجی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نقشه‌برداری خدمات اکوسیستم

استان با مساحت ۹۷۱۹۲/۶۸ کیلومترمربع در ۴۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۱۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۱۱ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر گسترش عوارض طبیعی، شمال استان تحت تأثیر ارتفاعات البرز بوده و اقلیم کوهستانی در آن حاکم است. در حالی که نواحی جنوبی استان تحت تأثیر مناطق کویری و نمکزار و اقلیم خشک و بیابانی است. میانگین دما و بارندگی سالانه از بدو تأسیس ایستگاه‌های سینوپتیک تا سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۱۵/۸۶ درجه سانتی‌گراد و ۱۳۵ میلی‌متر است (Zarandian, 2023). با توجه به نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، استان سمنان با ۷/۲ نفر در کیلومترمربع پایین‌ترین تراکم جمعیتی کشور را در واحد سطح در میان دیگر استان‌های کشور دارد و حدود ۰/۸۴ درصد جمعیت کشور را به خود اختصاص داده است. در منطقه مورد مطالعه ۱۸ منطقه از مناطق چهارگانه تحت حفاظت سازمان محیط‌زیست وجود دارد. این مناطق شامل پارک ملی (قسمتی از پارک ملی گلستان، کویر، توران، پابند)، مناطق حفاظت‌شده (کویر، توران، پرور، بولا، لاوه، هزارجریب)، پناهگاه حیات‌وحش (خوش ییلاق، دودانگه، دشت لاقری) و مناطق شکار ممنوع (کوه سفید، کاور، پتال، سفیدکوه، طالو و شیربند، چلچلی، خنار) هستند (Zarandian, 2023).

### روش تحقیق

روش‌شناسی تحقیق حاضر شامل دو گام تهیه نقشه کاربری اراضی و مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی تفرجی است در ادامه جزئیات این دو گام ارائه شده است.

### تهیه نقشه کاربری اراضی

تصاویر موردنظر برای استخراج نقشه کاربری اراضی از سایت LAND VIEWER گرفته شد. در این پایگاه امکان تهیه به‌روزترین تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و

فرهنگی در جزیره لسبوس، یونان (Banela and Kitsiou, 2023)، ادغام طیف فرصت‌های تفریحی و فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی برای مناسب بودن مکان‌های تفریحی در فضای باز منطقه انیز ادرنه در شمال غربی ترکیه (Aşılıoğlu and Çay, 2023)، تجسم خدمات اکوسیستم فرهنگی برای ترویج حفاظت از منظره (Shi et al., 2024) و نقشه‌برداری خدمت اکوسیستمی تفرج در رودخانه ویستولا لهستان (Grzyb, 2024) از نمونه این مطالعات هستند. با توجه به اینکه، گنجانیدن خدمات اکوسیستم فرهنگی در ارزیابی‌های خدمات اکوسیستم یک پیش‌نیاز برای درک جامع از کمک‌های طبیعت به رفاه انسان است (Quevedo and Kohsaka, 2024)؛ هدف از مطالعه حاضر کمی‌سازی و نقشه‌برداری خدمت تفرجی به‌عنوان نماینده خدمات فرهنگی در استان سمنان با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل ROS است. یکی از قابل‌توجه‌ترین ویژگی‌های مدل مورد استفاده در این است که تفریحات را می‌توان با تمرکز بر روی چندین فرآیند مدیریت منابع و برنامه‌ریزی ادغام کرد (Aşılıoğlu and Çay, 2023). خدمت تفرجی به لذت تفریحی حاصل از اکوسیستم طبیعی یا کشت‌شده، گفته می‌شود (Yang and Cao, 2022) که شناخته‌شده‌ترین خدمت فرهنگی است. شواهد حاکی از آن است که چنین مطالعاتی می‌تواند از طریق بهبود تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری منجر به مزایای اجتماعی قابل‌توجهی شود (Guo et al., 2022).

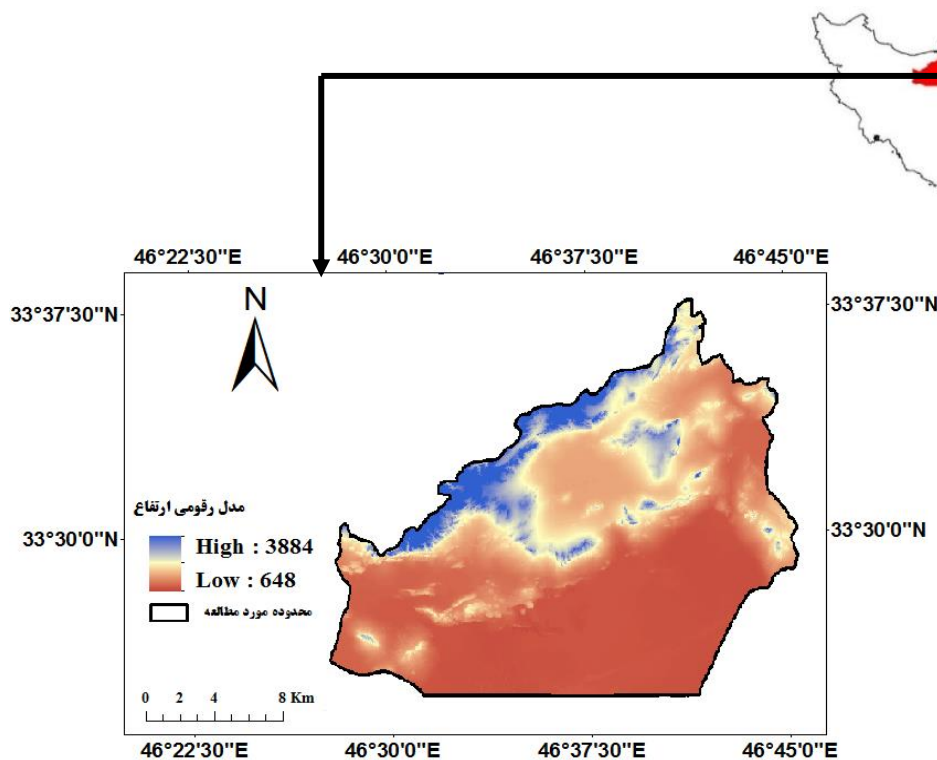
### مواد و روش‌ها

#### معرفی محدوده مطالعاتی

استان سمنان از شمال به استان‌های خراسان شمالی، گلستان و مازندران، از شرق به استان خراسان رضوی، از جنوب به استان‌های خراسان جنوبی و اصفهان و از غرب به استان‌های قم و تهران محدود می‌شود. این

فرایند موزاییک‌سازی ترکیب فریم‌ها صورت گرفت. موزاییک کردن به معنای قراردادن تصاویری که از لحاظ جغرافیایی با هم شباهت دارند در کنار هم است. پس این عملیات در نرم‌افزار ENVI 5.3 صورت گرفت. از پیش‌پردازش‌های لازم تصویر موزاییک‌شده با روش حداکثر احتمال در ۱۸ کلاس طبقه‌بندی شد و نقشه کاربری اراضی به دست آمد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصویر با کمک Google Earth و برداشت نقاط کنترل زمینی (۳۰۰ نقطه) از ضریب کاپا استفاده شد. در جدول ۱ مشخصات زمانی و نوع سنسورهای دریافتی تصویر نشان داده شده است.

۸، سنتینل ۱ و ۲ و CBER-۴ وجود دارد. ماهواره‌های سری سنتینل، توسط اتحادیه اروپا، ایجاد و طراحی شده‌اند و تاکنون ۶ سری از این ماهواره‌ها به فضا پرتاب شده است. ماهواره سنتینل ۲، مدار قطبی است که مأموریت آن اخذ تصاویر با وضوح بالا برای پایش پدیده‌هایی همانند آب، خاک، پوشش گیاهی و... است. بسیاری اوقات منطقه مورد مطالعه از یک فریم تصویر ماهواره‌ای کوچک‌تر است و نیازی به ترکیب فریم‌ها و موزاییک‌سازی برای پوشش یک منطقه نیست. اما با توجه اینکه که وسعت استان سمنان در تحقیق حاضر از یک فریم بیشتر است، در این شرایط، با استفاده از



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره Sentinel-2

Table 1- Characteristics of Sentinel-2 satellite images

| ردیف | تاریخ میلادی | تاریخ شمسی | قدرت تفکیک (متر) |
|------|--------------|------------|------------------|
| 1    | 2021/06/28   | 1400.4.7   | 10               |
| 2    | 2021/06/30   | 1400.4.9   | 10               |
| 3    | 2021/07/1    | 1400.4.10  | 10               |
| 4    | 2021/07/8    | 1400.4.16  | 10               |

## مدل‌سازی خدمت فرهنگی تفرج

به منظور کمی‌سازی خدمت تفرج از تلفیق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> (AHP)، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، و مدل ROS<sup>۲</sup> استفاده شد. در مدل ROS، خدمت تفرج بر اساس دو شاخص پتانسیل تفرجی و شاخص دسترسی - دوری برآورد شد که در ادامه به توضیحات این دو شاخص پرداخته شده است. در شاخص پتانسیل تفرجی سه عنصر طبیعی بودن منطقه (Sun et al., 2018)، مناطق حفاظت‌شده (Maes et al., 2012) و جذابیت‌های مناطق آبی (Kienast et al., 2012) نقشه‌سازی شدند. در گام اول، برای تهیه لایه طبیعی بودن از شاخص هومروبی استفاده می‌شود. در این شاخص تأثیر انسان بر روی پوشش گیاهی و مناظر بررسی می‌شود. بدین منظور اثر فعالیت‌های انسانی بر پوشش‌های طبیعی از ۱ تا ۷ امتیازدهی می‌شود. عدد ۱ به معنای طبیعی بودن و فاقد تأثیر انسان و عدد ۷ به معنای مصنوعی بودن و دارای بیشترین تأثیر فعالیت انسانی بر منطقه مورد مطالعه است (Früh-Müller et al., 2016). در این پژوهش با نسبت دادن عدد مناسب به هر کدام از کلاس‌های کاربری اراضی، درجه طبیعی بودن به دست آمد (González-García et al., 2020).

در گام دوم بر اساس طبقه‌بندی‌های اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (Vallecillo et al., 2019)، فایل‌های وکتوری مناطق حفاظت‌شده استان از اداره

محیط‌زیست تهیه شد و بر اساس آن‌ها لایه مناطق حفاظت‌شده استخراج شد. در گام سوم برای استخراج لایه جذابیت‌های مناطق آبی با توجه به پوشش منطقه و با دستور بافر، فاکتور فاصله از رودخانه محاسبه و با استفاده از تابع خطی کاهش‌ی فازی شد (جدول ۲). در نهایت برای تهیه شاخص پتانسیل تفرجی به هر کدام از لایه‌های تهیه شده در هر سه گام شامل لایه طبیعی بودن، لایه مناطق حفاظت‌شده و لایه فاصله از رودخانه با توجه به نظرات کارشناسان و بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در نرم‌افزار Expert Choice یک وزن اختصاص داده شد. در پایان لایه‌ها با روش ترکیب خطی وزنی (WLC<sup>۳</sup>) در نرم‌افزار ArcGIS10.8 با دستور Raster Calculator با هم ادغام شدند و لایه شاخص پتانسیل تفرجی به دست آمد. در شاخص دسترسی - دوری، فاصله از جاده‌ها و مناطق انسان‌ساخت با استفاده از روش Proximity در نرم‌افزار ArcGIS10.8 تهیه (Sun and Li, 2017) و با استفاده از تابع خطی کاهش‌ی فازی شدند (جدول ۳). پس از فازی کردن این دو لایه نیز بر اساس جدول ۲، نقشه نهایی این شاخص استخراج شد. در نهایت لایه‌های دو شاخص پتانسیل تفرجی و شاخص دسترسی - دوری با توجه به جدول ۴ ترکیب شدند و نقشه خدمت اکوسیستمی تفرج منطقه مورد مطالعه با روش ROS به دست آمد. روند کلی تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- فازی‌سازی معیارها

Table 2- Standardization of criteria

| نقاط کنترل |      |   |   | شکل تابع | نوع تابع | معیار                     |
|------------|------|---|---|----------|----------|---------------------------|
| D          | C    | B | A |          |          |                           |
| 1000       | 500  | - | - | نزولی    | خطی      | فاصله از رودخانه          |
| 5000       | 2000 | - | - |          |          | فاصله از جاده             |
| 5000       | 500  | - | - |          |          | فاصله از مناطق انسان‌ساخت |

<sup>۱</sup>. weighted linear combination

<sup>۱</sup>. Analytic Hierarchy Process

<sup>۲</sup>. Recreation Opportunity Spectrum

جدول ۳- پارامترهای روش proximity (Zulian et al., 2013)

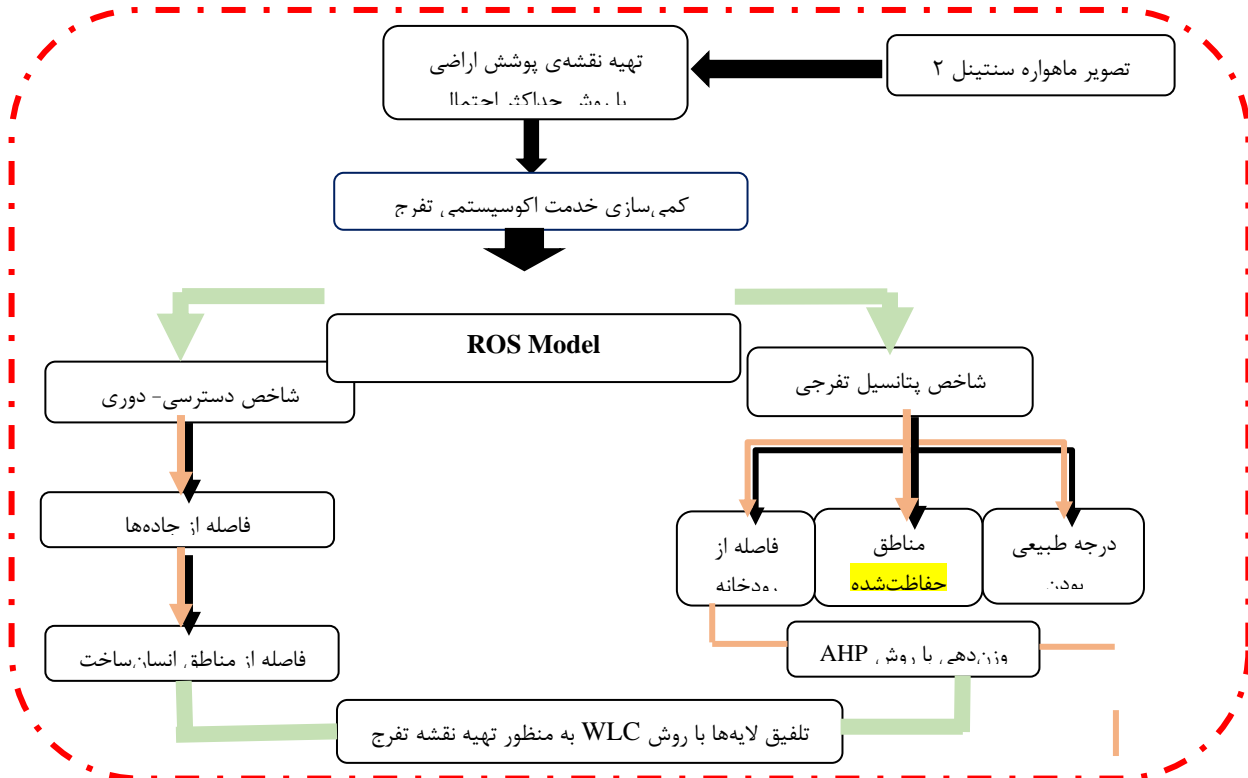
Table 3- The parameters of the proximity method

| فاصله از مناطق مسکونی (KM) | فاصله از جاده (KM) |             |             |          |
|----------------------------|--------------------|-------------|-------------|----------|
|                            | <1                 | <1-5        | <5-10       | >10      |
| <5                         | همسایگی            | مجاورت      | مجاورت      | دور      |
| 5-10                       | مجاورت             | مجاورت      | مجاورت      | دور      |
| 10-25                      | تقریباً دور        | تقریباً دور | تقریباً دور | دور      |
| 25-50                      | تقریباً دور        | دور         | دور         | دور      |
| >50                        | دور                | دور         | دور         | خیلی دور |

جدول ۴- پارامترهای طیف فرصت‌های تفریحی (Zulian et al., 2013)

Table 4- Parameters of the recreation opportunity spectrum

| دسترسی - دوری | پتانسیل تفریحی        |                          |                         |
|---------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
|               | 1<br><0.19            | 2<br>0.19- 0.25          | 3<br>>0.25              |
| همسایگی       | تأمین کم- دسترسی آسان | تأمین متوسط- دسترسی آسان | تأمین بالا- دسترسی آسان |
| مجاورت        | تأمین کم- دسترسی آسان | تأمین متوسط- دسترسی آسان | تأمین بالا- دسترسی آسان |
| تقریباً دور   | تأمین کم- در دسترس    | تأمین متوسط- در دسترس    | تأمین بالا- در دسترس    |
| دور           | تأمین کم- دسترسی سخت  | تأمین متوسط- دسترسی سخت  | تأمین بالا- دسترسی سخت  |
| خیلی دور      | تأمین کم- دسترسی سخت  | تأمین متوسط- دسترسی سخت  | تأمین بالا- دسترسی سخت  |



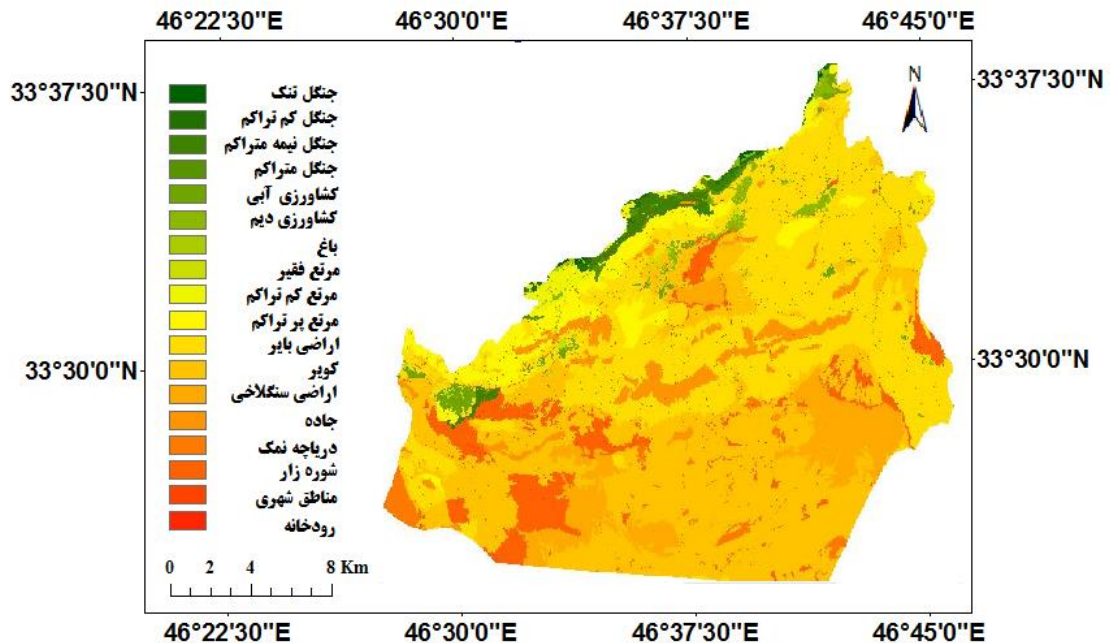
شکل ۲- چارچوب تحقیق

Figure 2- Research framework

**نتایج**

پوشش کاربری در استان سمنان در شکل ۳ و جدول ۵ ارائه شده است.

در این تحقیق، نتیجه طبقه‌بندی تصویر با ضریب کاپای ۹۱ درصد و همچنین مساحت ۱۸ طبقه



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی  
Figure 3-Land use map

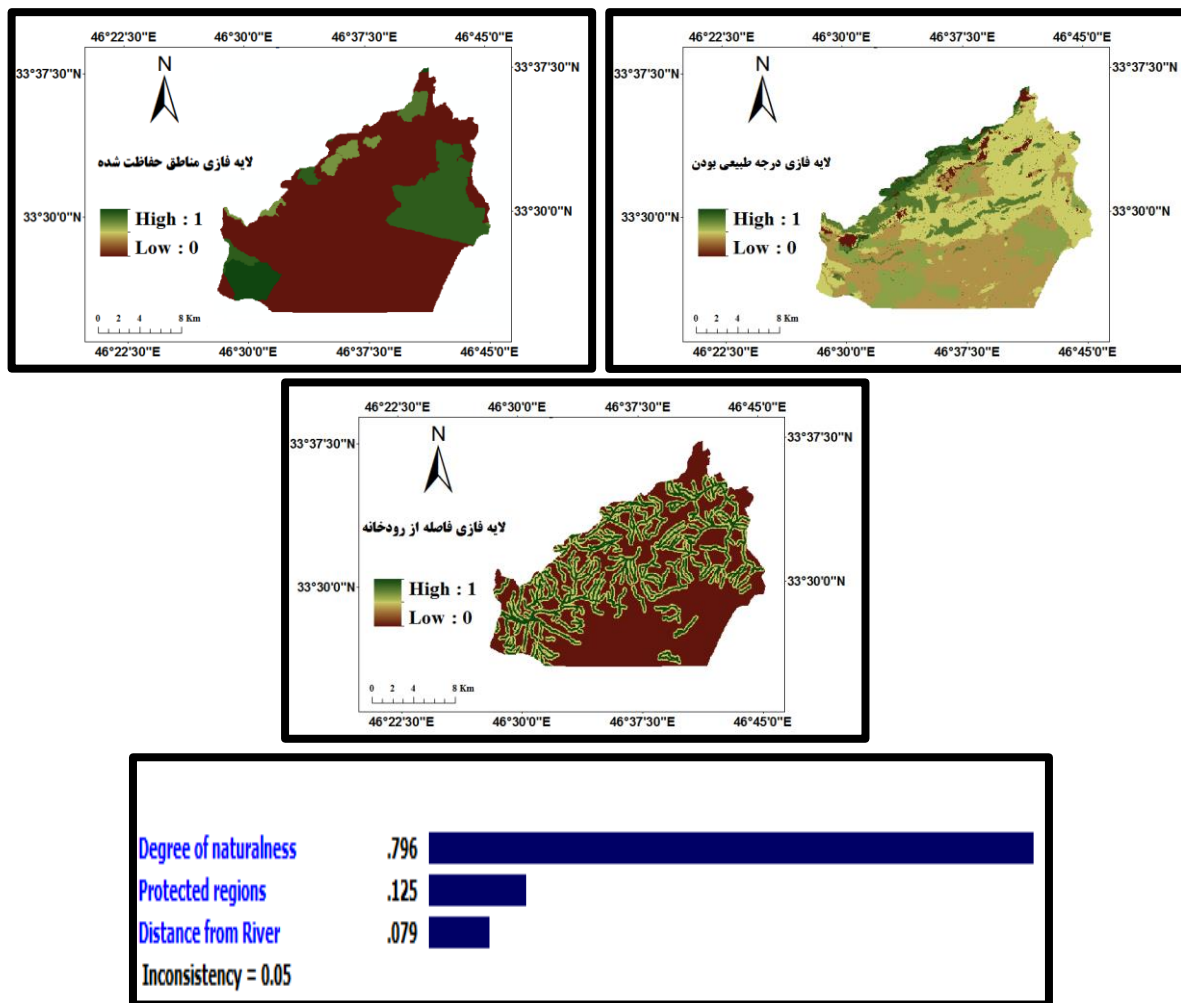
جدول ۵- مساحت کلاس‌های نقشه کاربری اراضی

Table 5- Area of land use map classes

| کاربری        | جنگل تنک      | جنگل کم تراکم | جنگل نیمه متراکم | جنگل پر تراکم | کشاورزی آبی | کشاورزی دیم |
|---------------|---------------|---------------|------------------|---------------|-------------|-------------|
| مساحت (هکتار) | 28430.83      | 147624.43     | 24948.5          | 11988.89      | 120542/67   | 100558.29   |
| کاربری        | باغ           | مرتع فقیر     | مرتع متوسط       | مرتع خوب      | اراضی بایر  | کویر        |
| مساحت (هکتار) | 12797.48      | 3254469.49    | 561465.6         | 101902.82     | 3265330.66  | 753171.78   |
| کاربری        | اراضی سنگلاخی | جاده          | دریاچه نمک       | شوره‌زار      | مناطق شهری  | رودخانه     |
| مساحت (هکتار) | 411830.46     | 28925.43      | 122208/3         | 682293/03     | 42837.28    | 47964.04    |

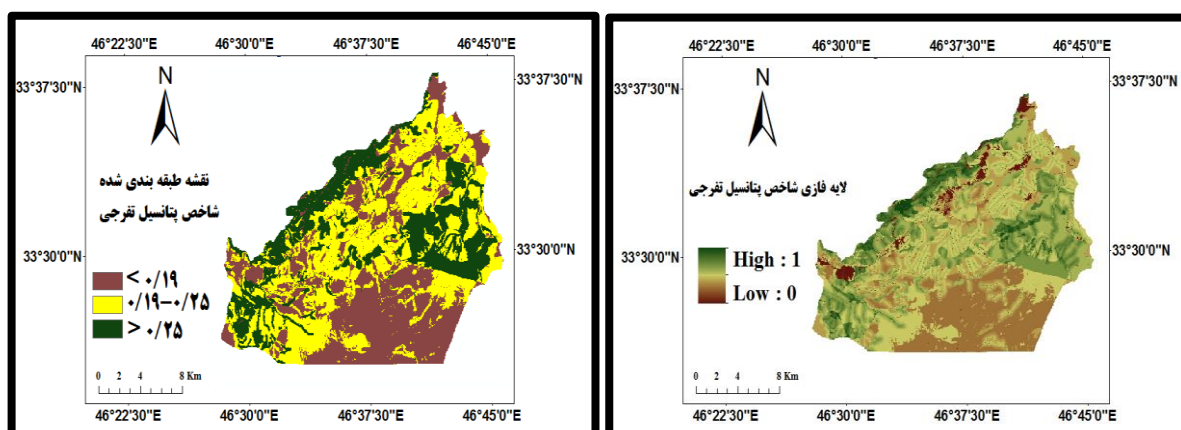
قابل قبول بودن نتایج است. مقدار این ضریب باید کمتر از ۰/۱ باشد (Ryngnga, 2008). بر اساس نتایج در بین معیارهای ورودی، درجه طبیعی بودن با وزن ۰/۷۹۶ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. همچنین نقشه فازی شده شاخص پتانسیل تفرجی و نقشه طبقه‌بندی شده این شاخص با توجه به پارامترهای روش Proximity در شکل ۵ نشان داده شده است.

لایه‌های فازی درجه طبیعی بودن، مناطق حفاظت شده و فاصله از رودخانه و وزن‌های اختصاص شده به هر کدام از این لایه‌ها بر اساس نظر کارشناسان و روش AHP در شکل ۴ ارائه شده است. پس از مشخص کردن وزن لایه‌ها، اهمیت هر کدام از آن‌ها در نرم‌افزار Expert Choice بررسی شد که ضریب ناسازگاری (Inconsistency)، ۰/۰۵ به دست آمد که حاکی از



شکل ۴- لایه‌های ورودی شاخص پتانسیل تفریحی

Figure 4- Input layers of recreational potential index

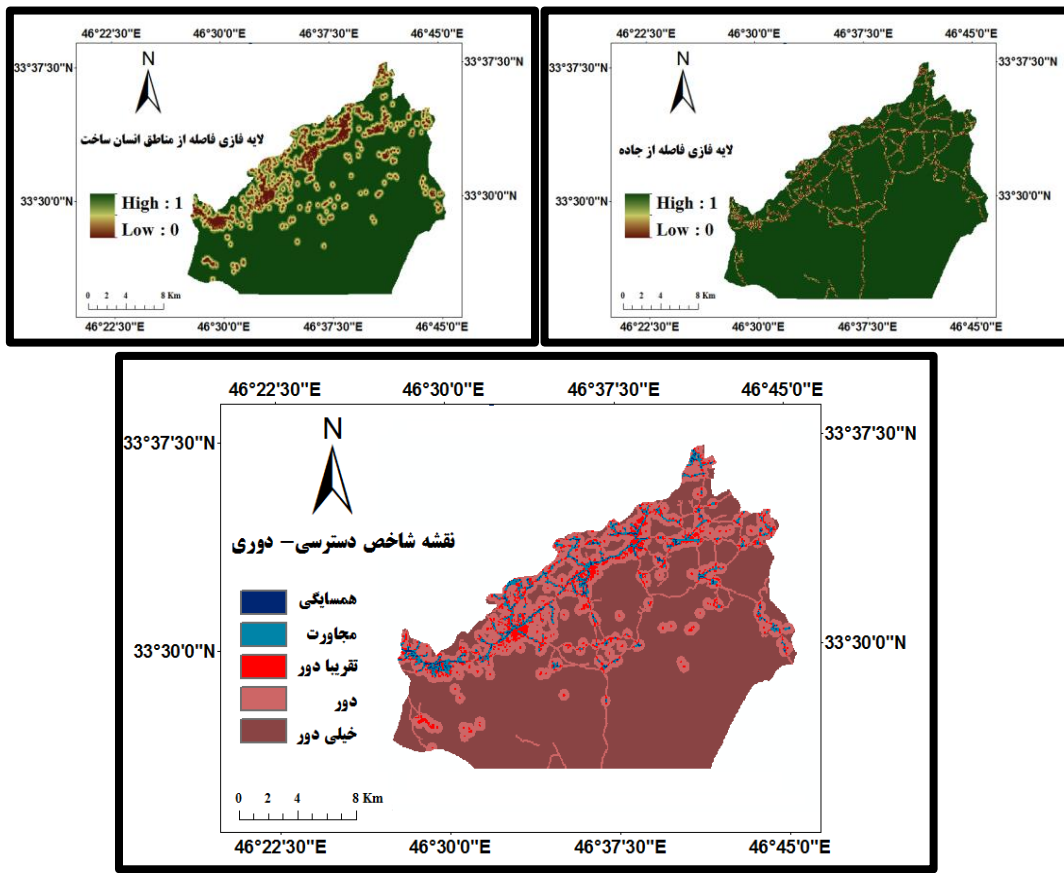


شکل ۵- نقشه نهایی شاخص پتانسیل تفریحی

Figure 5- The final map of the recreational potential index

دسترسی- دوری و نقشه نهایی این شاخص ارائه شده است.

همچنین در شکل ۶، لایه‌های فازی فاصله از جاده و فاصله از مناطق انسان‌ساخت برای تهیه شاخص

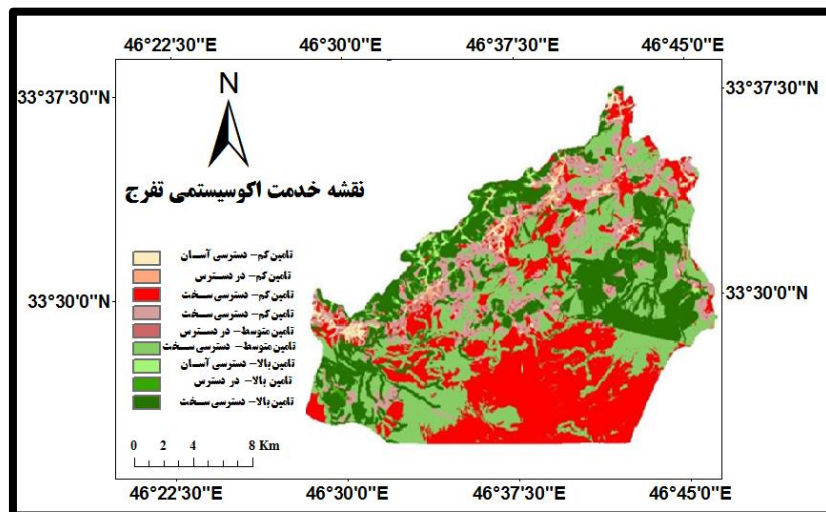


شکل ۶- لایه‌های ورودی و نقشه نهایی شاخص دسترسی - دوری

Figure 6- Input layers and the final map of accessibility-remoteness index

تحت پوشش هر طبقه نیز در شکل ۸ نمایش داده شده است.

در نهایت با ترکیب نقشه شاخص پتانسیل تفرجی و نقشه شاخص دسترسی - دوری، نقشه نهایی خدمت اکوسیستمی تفرج به دست آمد (شکل ۷). درصد زمین



شکل ۷- نقشه خدمت اکوسیستمی تفرج

Figure 7- Recreation ecosystem service map

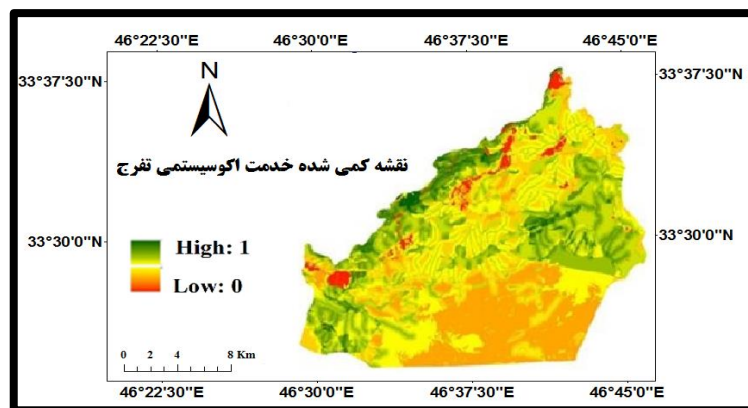


شکل ۸- درصد زمین تحت پوشش در هر طبقه ROS

Figure 8- Percentage of land covered in each ROS class

پهنه‌هایی از استان است که دارای بالاترین جذابیت طبیعی برای تفرج و گردشگری و بهترین مکان برای مراجعه گردشگران است.

در پایان برای تهیه نقشه ارزش تفرج با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، خروجی مدل ROS، به صورت طیف ۰-۱ کمی شد (شکل ۹)، که عدد ۱ نشان‌دهنده



شکل ۹- نقشه کمی شده خدمت اکوسیستمی تفرج

Figure 9- Quantified map of recreation ecosystem service

تفرج در سطح پایین (طبقه اول) قرار دارد. پوشش غالب این مناطق اراضی بایر است. از طرف دیگر، در مکان‌های دارای پوشش جنگلی و مرتعی بالاترین (طبقه سوم) پتانسیل تفرج مشاهده می‌شود. بر اساس شکل ۶، نیز کاملاً مشخص است که دسترسی به منابع تفرجی در بیشتر منطقه سخت است و طبقه "دور" بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در مجموع با توجه به شکل نهایی خدمت اکوسیستمی تفرج (شکل ۷) در قسمت‌های شرقی، نوار باریکی از شمال غرب و بیشتر جنوب‌غرب منطقه از پتانسیل بیشتری نسبت به سایر مکان‌ها برای عرضه خدمت تفرج هستند. این مناطق دارای پوشش مرتعی و جنگلی هستند. همچنین منطقه حفاظت‌شده و پناهگاه

## بحث

بر اساس نقشه کاربری اراضی (شکل ۳) مراتع، اراضی بایر و زراعت دیم به ترتیب با ۲۳/۵۷، ۲۲/۲۷ و ۱۷/۳۱ درصد، بیشترین سطوح پوشش/کاربری زمین را در محدوده مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن پهنه‌های آبی، شوره‌زار و زراعت آبی به ترتیب با ۱۵/۶۵، ۱۰/۹۸ و ۷/۸۴ درصد کاربری‌هایی با پوشش غالب هستند. بقیه سطح محدوده مورد مطالعه با سایر کاربری‌ها پوشیده شده است که در این میان کمترین سهم به پوشش تالابی و کاربری شهری اختصاص دارد. نقشه نهایی شاخص پتانسیل تفرجی (شکل ۵) حاکی از این است که بیشتر مساحت منطقه از نظر پتانسیل

شامل پارک ملی، پناهگاه حیات‌وحش و مناطق حفاظت‌شده اختصاص دارد که از تنوع اقلیمی، ذخایر طبیعی و حیات‌وحش با نادرترین گونه‌های گیاهی و جانوری (یوزپلنگ آسیایی و گورخر ایرانی) برخوردار است، در صورت مدیریت تلفیقی خدمات اکوسیستمی و توسعه در استان، می‌توان علاوه بر استمرار و حفظ ظرفیت تدارک خدمات اکوسیستمی در توازن با قابلیت توسعه خدمت تفرج و گردشگری و بوم‌گردی روستایی باشد و بدین ترتیب بخشی از محدودیت‌های اقتصادی ناشی از تعارضات موجود (تعارض زراعت آبی با حفاظت از مراتع و...) را خنثی نماید یا کاهش دهد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی تفرج در استان سمنان با تلفیق مدل‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و طیف فرصت‌های تفرجی (ROS) انجام شد. نتایج نشان از کارایی این مدل در کمی‌سازی خدمت تفرج است. نتایج حاکی از این است که بیشتر مکان‌های استان قابلیت متوسط تا کم برای عرضه خدمت تفرج را دارند. با توجه به اینکه پتانسیل تفرجی برای رفاه جمعیت شهری مهم است، افزایش پارک‌های شهری و مناطق زیرساختی سبز راهی مفید برای ارتقاء کیفیت تجربه تفرج است؛ بنابراین، استراتژی‌های توسعه شهری باید به‌طور فزاینده‌ای با هدف تقویت شبکه طبیعی و مصنوعی فضای سبز، تنوع ترکیبات گیاهی و ساختار زیست‌توده و مدیریت صحیح فضای سبز باشد. این امر برای طراحی فضای سبز با توجه به حداکثر رساندن خدمات اکوسیستم در استان سمنان ضروری است. بر اساس نتایج، خدمت اکوسیستمی تفرج از اثرات مختلف ناشی از توسعه انسانی به‌ویژه تغییرات پوشش/ کاربری زمین تأثیر می‌پذیرد. با توجه به تمرکز هر دو متغیر تدارک خدمات اکوسیستمی و توسعه شهری و صنعتی در نیمه شمالی استان، توجه به تعارضات و تضادهای بین

حیات‌وحش توران در بخش‌های شرقی و پارک ملی و منطقه حفاظت‌شده کویر در جنوب غرب منطقه واقع شده‌اند. بر اساس شکل ۸ که درصد زمین تحت پوشش در هر طبقه را نشان می‌دهد، طبقه سوم (تأمین کم-دسترسی سخت) و طبقه هفتم (تأمین بالا-دسترسی آسان) به ترتیب بیشترین و کمترین پوشش سطح زمین از نظر خدمت اکوسیستمی تفرج در استان را به خود اختصاص داده‌اند. پتانسیل بالای مناطق با پوشش طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع در تدارک خدمت تفرج در مطالعات قبلی (Lavorel *et al.*, 2020; Yohannes *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2022; Mohammadyari *et al.*, 2023a; Mohammadyari *et al.*, 2023b) تأیید شده است که با نتایج این مطالعه تطابقت دارد. به‌بیان دیگر الگوی کاربری زمین و نوع پوشش اراضی بر عرضه خدمت تفرج بسیار تأثیرگذار است. ۳۵۲ هزار هکتار از پوشش جنگلی استان شامل جنگل‌های انبوه، نیمه انبوه، تنک و دست‌کاشت در نیمه شمالی استان قرار گرفته که دارای همپوشانی با محدوده‌های توسعه انواع زیرساخت‌های انسانی مانند جاده، سکونتگاه شهری و روستایی است. این محدوده‌های جنگلی به دلیل واقع‌شدن در ارتفاعات و طول زیاد دوره یخبندان از دوره رویش سالانه کوتاهی برخوردارند و از این رو به‌شدت در مقابل فشارهای انسانی ناشی از تغییر کاربری، حساس و تخریب‌پذیرند. اگرچه جنگل‌های استان به دلیل حفاظتی بودن قابلیت بهره‌برداری ندارند، اما تعارضاتی چون بهره‌برداری غیرقانونی (قطع غیرمجاز درختان توسط قاچاقچیان چوب)، تخریب رویشگاه‌های جنگلی برای استخراج معدن، آتش‌سوزی و جاده‌سازی برای توسعه شبکه ارتباطی به‌ویژه برای ایجاد دسترسی برای جوامع شهری و روستایی ساکن در این محدوده‌ها وجود دارد که همه این موارد باعث کاهش عرضه انواع خدمات اکوسیستمی از جمله تفرج می‌شود؛ بنابراین حفاظت بیشتر از این مناطق باید در دستورکار قرار گیرد. از طرف دیگر، با توجه به اینکه ۲۵ درصد از مساحت استان به مناطق تحت مدیریت

هستند، شدت می‌یابد. بدیهی است که تداوم روند موجود بدون توجه به ظرفیت تدارک خدمات اکوسیستمی در استان، در درازمدت دارای اثرات و پیامدهای زیان‌بار و برگشت‌ناپذیر اکولوژیکی است که در نهایت علاوه بر نابودی محیط‌زیست موجب ایجاد بن‌بست برای توسعه اقتصادی و انسانی نیز خواهد شد.

توسعه و مدیریت خدمات اکوسیستمی در صورت تداوم روند موجود، حیاتی است. چراکه در صورت تداوم روند موجود، علاوه بر تشدید ناپایداری توسعه، تخریب و نابودی دارایی‌های طبیعی استان به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع که منبع اصلی تدارک انواع خدمات اکوسیستمی مانند تفرج، تعادل آبی، تعادل اقلیمی، حفاظت خاک، تدارک زیستگاه برای انسان و سایر موجودات زنده و...

## References

- Aşılıoğlu, F. & Çay, R. D. (2023). A dual spatial analysis method based on recreation opportunity spectrum and analytical hierarchy process for outdoor recreation site suitability. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 44, 100703. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100703>
- Banella, M. & Kitsiou, D. (2023). Mapping cultural ecosystem services: A case study in Lesbos Island, Greece. *Ocean & Coastal Management*, 246, 106883. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106883>
- Chaharhahy, Z., Pourebrahim, S. & Pejman, A. H. (2022). Spatial Analysis and Prioritization of Cultural Ecosystem Services: Modeling the Suitability of Recreational Services. *Town and Country Planning*, 14(1), 317-345. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jtcp.2021.330707.670255>
- Früh-Müller, A., Hotes, S., Breuer, L., Wolters, V. & Koellner, T. (2016). Regional patterns of ecosystem services in cultural landscapes. *Land*, 5(2), 17. <https://doi.org/10.3390/land5020017>
- Grzyb, T. (2024). Mapping cultural ecosystem services of the urban riverscapes: the case of the Vistula River in Warsaw, Poland. *Ecosystem Services*, 65, 101584. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101584>
- González-García, A., Palomo, I., González, J. A., López, C. A. & Montes, C. (2020). Quantifying spatial supply-demand mismatches in ecosystem services provides insights for land-use planning. *Land use policy*, 94, 104493. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104493>
- Gugulica, M. & Burghardt, D. (2023). Mapping indicators of cultural ecosystem services use in urban green spaces based on text classification of geosocial media data. *Ecosystem Services*, 60, 101508. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101508>
- Han, R., Feng, C. C., Xu, N. & Guo, L. (2020). Spatial heterogeneous relationship between ecosystem services and human disturbances: A case study in Chuandong, China. *Science of The Total Environment*, 721, 137818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137818>
- Huang, S., Tian, T., Zhai, L., Deng, L. & Che, Y. (2023). Understanding the dynamic changes in wetland cultural ecosystem services: Integrating annual social media data into the SolVES. *Applied Geography*, 156, 102992. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102992>
- Kienast, F., Degenhardt, B., Weilenmann, B., Waeger, Y. & Buchecker, M. (2012). GIS-assisted mapping of landscape suitability for nearby recreation. *Landscape and Urban Planning*, 105, 385-399. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.015>
- Kosanic, A., Lambers, K., Galata, S., Kothieringer, K. & Abderhalden, A. (2023). Importance of Cultural Ecosystem Services for Cultural Identity and Wellbeing in the Lower Engadine, Switzerland. *Land*, 12(12), 2156. <https://doi.org/10.3390/land12122156>

- Lavorel, S., Rey, P. L., Grigulis, K., Zawada, M. & Byczek, C. (2020). Interactions between outdoor recreation and iconic terrestrial vertebrates in two French alpine national parks. *Ecosystem Services*, 45, 101155. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101155>
- Guo, R.Z., Song, Y.B. & Dong, M. (2022). A review and prospect of cultural ecosystem services of urban wetlands. *Hangzhou Normal Univ.* 21, 364–371.
- Guo, R. Z., Lin, L., Xu, J. F., Dai, W. H., Song, Y. B. & Dong, M. (2023). Spatio-temporal characteristics of cultural ecosystem services and their relations to landscape factors in Hangzhou Xixi National Wetland Park, China. *Ecological Indicators*, 154, 110910. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110910>
- Maes, J., Paracchini, M.L., Zulian, G., Dunbar, M.B. & Alkemade, R. (2012). Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. *Biological Conservation*, 155, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.016>
- Martin-Lopez, B., Leister, I., Lorenzo Cruz, P., Palomo, I., Grêt-Regamey, A., Harrison, P. A., Lavorel, S., Locatelli, B., Luque, S. & Walz, A. (2019). Nature's contributions to people in mountains: A review. *PloS one*, 14(6), e0217847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217847>
- Márquez, L. A. M., Rezende, E. C. N., Machado, K. B., do Nascimento, E. L. M., Castro, J. D. A. B. & Nabout, J. C. (2023). Trends in valuation approaches for cultural ecosystem services: A systematic literature review. *Ecosystem Services*, 64, 101572. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101572>
- Mohammadyari, F., Tavakoli, M., Zarandian, A. & Abdollahi, S. (2023a). Optimization land use based on multi-scenario simulation of ecosystem service for sustainable landscape planning in a mixed urban-Forest watershed. *Ecological Modelling*, 483, 110440. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110440>
- Mohammadyari, F., Zarandian, A., Mirsanjari, M. M., Suziedelyte Visockiene, J. & Tumeliene, E. (2023b). Modelling Impact of Urban Expansion on Ecosystem Services: A Scenario-Based Approach in a Mixed Natural/Urbanised Landscape. *Land*, 12(2), 291. <https://doi.org/10.3390/land12020291>
- Quevedo, J. M. D. & Kohsaka, R. (2024). A systematic review of cultural ecosystem services of blue carbon ecosystems: Trends, gaps, and challenges in Asia and beyond. *Marine Policy*, 159, 105898. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105898>
- Ryngnga, P. K. (2008). Ecotourism prioritization: A geographic information system approach. *South Asian Journal of Tourism and Heritage*, 1, 50-56
- Sun, X., Crittenden, J. C., Li, F., Lu, Z. & Dou, X. (2018). Urban expansion simulation and the spatio-temporal changes of ecosystem services, a case study in Atlanta Metropolitan area, USA. *Science of the Total Environment*, 622, 974-987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.062>
- Sun, X. & Li, F. (2017). Spatiotemporal assessment and trade-offs of multiple ecosystem services based on land use changes in Zengcheng, China. *Science of the total environment*, 609, 1569-1581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.221>
- Sun, Y., Liu, D. & Wang, P. (2022). Urban simulation incorporating coordination relationships of multiple ecosystem services. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103432. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103432>
- Sen, S. & Guchhait, S. K. (2021). Urban green space in India: Perception of cultural ecosystem services and psychology of situatedness and connectedness. *Ecological Indicators*, 123, 107338. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107338>
- Shi, X., Zhao, X., Pu, J., Gu, Z., Zhao, Q., Feng, Y. & Zhou, S. (2024). Creating a monetization-SOLVES model to visualize

- the cultural ecosystem services for promoting landscape conservation. *Journal for Nature Conservation*, 77, 126521. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2023.126521>
- Teoh, S. H. S., Symes, W. S., Sun, H., Pienkowski, T. & Carrasco, L. R. (2019). A global meta-analysis of the economic values of provisioning and cultural ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 649, 1293-1298. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.422>
- Vallecillo, S., La Notte, A., Zulian, G., Ferrini, S. & Maes, J. (2019). Ecosystem services accounts: Valuing the actual flow of nature-based recreation from ecosystems to people. *Ecological Modelling*, 392, 196-211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.09.023>
- Wang, Y. & Hayashi, K. (2023). Methodological development of cultural ecosystem services evaluation using location data. *Journal of Cleaner Production*, 396, 136523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136523>
- Wang, L., Huang, L., Cao, W., Zhai, J. & Fan, J. (2024). Assessing grassland cultural ecosystem services supply and demand for promoting the sustainable realization of grassland cultural values. *Science of The Total Environment*, 169255. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169255>
- Yang, L. & Cao, K. (2022). Spatial matching and correlation between recreation service supply and demand in the Ili River Valley, China. *Applied Geography*, 148, 102805. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102805>
- Yohannes, H., Soromessa, T., Argaw, M. & Dewan, A. (2021). Spatio-temporal changes in habitat quality and linkage with landscape characteristics in the Beressa watershed, Blue Nile basin of Ethiopian highlands. *Journal of Environmental Management*, 281, 111885. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111885>
- Zarandian, A. (2023). Economic valuation of the basic resources of Semnan province with the approach of preparing an ecosystem service map. Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). Research Project
- Zulian, G., Paracchini, M. L., Maes, J. & Liqueste, C. (2013). ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg.

## Comparison of the efficiency of sediment rating curve and learning models for estimating suspended sediment load in karst rivers (Case study: Hydrometric stations of Khorram Abad, Alshatar and Biranshahr watersheds)

Nasrin Beiranvand<sup>1</sup>, Alireza Sepahvand<sup>2\*</sup>, Ali Haghizadeh<sup>3</sup>

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

\* Corresponding author: [sepahvand1982@yahoo.com](mailto:sepahvand1982@yahoo.com)

(Received: 13 December 2023

Revised: 19 January 2024

Accepted: 06 March 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Sediment transport by surface flows is one of the primary processes responsible for reshaping the Earth's surface. This process is widely expressed in the shape of river drainage systems and their alluvial deposits, which dominate the geomorphology of large areas of the Earth's surface and are responsible for the majority of sediment from land to oceans. One of the most important problems threatening dams is the sediment inputs to the dam reservoir. Due to various problems, estimating the volume of sediments is a complicated process. So, some methods have been created by researchers to overcome these problems. Modeling of suspended sediment load (SSL) is an important subject for decision-makers in the catchment. Accurate and reliable modeling of SSL is one of the important subjects for planning, managing, and designing soil and water structures in the drainage networks. The purpose of this study was to compare the efficiency of Sediment Rating Curve (SRC) and Machine Learning Algorithms (MLA) for estimating SSL in karst rivers in Bahram Joo, Cham Anjir, Sarab Seyd Ali, and Kakareza hydrometric stations in Lorestan province, Iran.

**Materials and Methods:** In this study, a rating curve and five soft computing techniques, Support Vector Machine with RBF kernel (SVM-RBF), Support Vector Machine with PUK kernel (SVM-PUK), Gaussian processes with PUK kernel (GP-PUK), Gaussian processes with RBF kernel (GP-RBF), M5P, reduced error pruning tree (REPTree), and Random Forest (RF) were used and evaluated. They were used to predict SSL in the Kashkan watershed, Iran. Cham Anjir, Bahram Joo, Sarab Seyd Ali, and Kakareza stations were selected for this study. The data of temperature, rain, discharge, and SSL of 20 years (2001–2021) were utilized as input and output parameters. Thus, four stations with a long-term data were selected. The total dataset consists of temperature, rain, discharge, and SSL of watersheds, of which 70% of the data were used for training and 30% for the testing phase. Finally, the models' accuracy was assessed using three performance evaluation parameters: Correlation Coefficient (C.C.), Root Mean Square Error (RMSE), and Maximum Absolute Error (MAE).

**Results and Discussion:** Results showed that the soft computing methods (SVM-PUK, GP-PUK, GP-RBF, M5P, REPTree, and RF) performed better than the traditional technique (SRC), as they made use of non-linear techniques for data reconstruction. It can be concluded that, among all the models, the M5P model, which used decomposed data that captured the dynamic features of the non-linear and non-stationary SSL time series data, performed better than other models. The SRC performed with a C.C of 0.5941. The best M5P model (best among soft computing methods) scored a mean C.C of about 0.89, surpassing the best SRC results. Although it captured the peaks better than SRC, it still overestimated the sediment load and was unable to capture the peak sediment rates, which are of great importance for design purposes.

**Conclusion:** Sediments carried by water are a serious problem, as they shorten the life of a reservoir, reduce the channel discharge-carrying capacity, especially to tail-end users, etc. Therefore, sediment management is the golden rule in river engineering, to which much effort and energy are directed. An important aspect of sediment management is sediment estimation, which is mostly found in a suspended form in rivers and other water bodies. This research focused on a comparison of the different methods of suspended sediment estimation in rivers. This includes the traditional method, i.e., SRC, and soft computing techniques, i.e., SVM-RBF, SVM-PUK, GP-PUK, GP-RBF, M5P, REPTree, and RF. The results of this study provide scientific information to predict SSL, and Soft Computing Techniques could be an efficient technique to simulate the SSL time series, because they extract key features embedded in the SSL signal. Finally, the results showed that the M5P model is effective in predicting suspended sediment content in the KhorramAbad, Biranshahr, and Alashter watersheds.

**Keywords:** Lorestan province, Kashkan watershed, Sediment load, hydrometric stations, sediment Rating curve.

**Citation:** Beiranvand, N., Sepahvand, A., & Haghizadeh, A. (2024). Comparison of the efficiency of sediment rating curve and learning models for estimating suspended sediment load in karst rivers (Case study: Hydrometric stations of Khorram Abad, Alshatar and Biranshahr watersheds). *Integrated Watershed Management*, 4(2), 50-65. doi: 10.22034/iwm.2024.2016652.1118

### 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>).





## مقایسه کارایی منحنی سنجرسوب و مدل‌های یادگیری در برآورد رسوب معلق رودخانه‌های کارستی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌های خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر)

نسرین بیرانوند<sup>۱</sup>، علیرضا سپه‌وند<sup>۲\*</sup>، علی حقی‌زاده<sup>۳</sup>

گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** انتقال رسوب توسط جریان‌های سطحی یکی از فرآیندهای اولیه است که مسئول تغییر شکل سطح زمین می‌باشد. روی زمین این فرآیند به‌طور گسترده در قالب سیستم‌های زهکشی رودخانه‌ها و رسوبات آبرفتی بیان می‌شود که بر ژئومورفولوژی مناطق وسیعی از سطح زمین اثر دارند و مسئول جریان رسوب از خشکی به اقیانوس‌ها هستند. یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که مخزن ذخیره سدها را تهدید می‌کند، ورود رسوبات است. به دلیل مشکلات مختلف، تخمین حجم رسوبات فرآیندی پیچیده است؛ بنابراین روش‌هایی توسط محققان برای حل این مشکل ابداع شده‌اند. مدل‌سازی بار رسوب معلق موضوع مهمی برای تصمیم‌گیرندگان در سطح حوضه است. مدل‌سازی دقیق و مطمئن بار رسوب معلق یکی از موضوعات مهم برای برنامه‌ریزی، مدیریت و طراحی سازه‌های ذخیره آب در شبکه زهکشی است. لذا هدف این مطالعه مقایسه کارایی منحنی سنجرسوب و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تخمین بار رسوب معلق در رودخانه‌های کارستی در ایستگاه‌های هیدرومتری بهرام‌جو، چمانجیر، سراب صیدعلی و کاکارضا، استان لرستان، ایران بود.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه منحنی سنجرسوب و پنج مدل، ماشین‌بردار پشتیبان با کرنل RBF (SVM-RBF)، ماشین‌بردار پشتیبان با کرنل PUK (SVM-PUK)، فرآیندهای گاوسی با کرنل PUK (GP-PUK)، فرآیندهای گاوسی با کرنل RBF (GP-RBF)، REEP Tree، M5P و جنگل تصادفی (RF) برای پیش‌بینی بار رسوب معلق در حوزه آبخیز کشکان، ایران مورد استفاده قرار گرفتند. ایستگاه‌های چمانجیر، بهرام‌جو، سراب صیدعلی و کاکارضا برای بررسی در این پژوهش انتخاب شدند. داده‌های دما، باران و دبی به‌عنوان پارامترهای ورودی و بار رسوب معلق به‌عنوان پارامتر خروجی استفاده شدند. دوره آماری داده‌ها ۲۰ سال (۲۰۰۱-۲۰۲۱) انتخاب شده‌اند. مجموعه داده‌های این تحقیق شامل دما، باران، دبی و بار رسوب معلق سه زیرحوضه است که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها برای مرحله آزمایش استفاده شدند. در نهایت، دقت مدل‌ها با استفاده از سه پارامتر ارزیابی عملکرد، ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق مورد ارزیابی قرار گرفت.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که مدل‌های SVM-PUK، GP-PUK، GP-RBF، M5P، REEP Tree و RF دارای کارایی بیشتری نسبت به روش منحنی سنجرسوب بودند، زیرا از تکنیک‌های غیرخطی برای بازسازی داده‌ها استفاده می‌کنند. علاوه بر این، از بین همه مدل‌ها، مدل M5P که از داده‌های تجزیه‌شده استفاده می‌کرد و ویژگی‌های دینامیکی داده‌های سری زمانی بار رسوب معلق غیرخطی و غیرثابت را به تصویر می‌کشید، کارایی بهتر و بالاتری در تخمین رسوب معلق نسبت به دیگر مدل‌ها از خود نشان داد. بهترین ضریب تبیین نتایج منحنی سنجرسوب برابر ۰/۵۹۴۱ بود. مدل M5P بهترین ضریب تبیین را حدود ۰/۸۹ را نشان داد که کارایی بالاتری نسبت به منحنی سنجرسوب بود. اگرچه این مدل نقاط اوج رسوب معلق را بهتر از SRC نشان داد، اما باز هم بار رسوب را بیش از حد مشاهداتی تخمین می‌زد و نمی‌توانست مقادیر اوج رسوب معلق را که برای اهداف طراحی از اهمیت بالایی برخوردار هستند، را به‌طور دقیق نشان دهد.

**نتیجه‌گیری:** رسوبات حمل شده توسط آب مشکلات جدی ایجاد می‌کند، از جمله عمر مخزن سدها را کوتاه می‌کند و ظرفیت تخلیه کانال را به‌ویژه در انتهای رودخانه‌ها کاهش می‌دهند. بنابراین، مدیریت رسوب قانون طلایی در مهندسی رودخانه است که تلاش و انرژی زیادی برای انجام آن صرف می‌شود. یکی از جنبه‌های مهم مدیریت رسوب، تخمین رسوب است که بیشتر به‌صورت معلق در رودخانه‌ها و دیگر توده‌های آبی یافت می‌شود. این تحقیق بر مقایسه مدل‌های مختلف تخمین رسوب معلق در رودخانه‌ها انجام شده است. این تحقیق شامل روش سنتی، یعنی منحنی سنجرسوب و الگوریتم‌های یادگیری، یعنی SVM-PUK، GP-PUK، GP-RBF، M5P، REEP Tree و RF است. نتایج این مطالعه ارائه اطلاعات علمی برای پیش‌بینی بار رسوب معلق است و الگوریتم‌های یادگیری می‌توانند یک تکنیک کارآمد برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی بار رسوب معلق باشند زیرا ویژگی‌های کلیدی تعبیه‌شده در میزان بار رسوب معلق را استخراج می‌کنند. در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد که مدل M5P در پیش‌بینی میزان رسوب معلق در حوضه‌های خرم‌آباد، بیرانشهر و الشتر دارای کارایی بالایی است.

**واژه‌های کلیدی:** استان لرستان، حوضه کشکان، رسوب معلق، منحنی سنجرسوب، الگوریتم‌های یادگیری.

**استناد:** بیرانوند، ن.، سپه‌وند، ع.، حقی‌زاده، ع. (۱۴۰۳). مقایسه کارایی منحنی سنجرسوب و مدل‌های یادگیری در برآورد رسوب معلق رودخانه‌های کارستی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌های خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۶۵-۵۰.

### 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

لغزش و غلتیدن روی بستر رودخانه و یا هم‌زمان به دو صورت گفته شده انتقال می‌یابد. در حالت کلی بار رسوبی حوضه به سه شکل بار معلق، بار انحلالی و بار بستر در جریان آب دیده می‌شود. به دلیل اینکه در بسیاری از رودخانه‌ها بار کل رسوب را رسوب معلق تشکیل می‌دهد و بار بستر بیشتر حاصل فرسایش رودخانه‌ای است و همچنین به دلیل مشکل بودن محاسبه‌ی بار بستر در خیلی از موارد برآورد رسوب مربوط به بار معلق است (Mirzaei et al., 2005). برآورد مقدار تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز و میزان خروج آلاینده‌ها با دقت برآورد مقدار رسوب معلق رابطه‌ای مستقیم دارد (Hostache et al., 2014). رسوب معلق را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلفی مانند منحنی سنجه‌رسوب و مدل‌های یادگیری برآورد کرد. یکی از روش‌های ساده و بسیار کاربردی در پیش‌بینی بار رسوب، منحنی سنجه‌رسوب است که با استفاده از داده‌های دبی، رسوب معلق را برآورد می‌کند (Zhang et al., 2012). منحنی‌های سنجه‌رسوب (SRC)<sup>۱</sup> یکی از معمول‌ترین روش‌های برآورد بار رسوب معلق رودخانه‌هاست (Javidan et al., 2022) که با استفاده از داده‌های غلظت و دبی متناظر با آن رسم می‌گردد (Sutter et al., 2001). به کمک معادله سنجه‌رسوب و با بررسی عوامل مؤثر بر آن می‌توان از نتایج حاصل‌شده در حوضه‌های بدون آمار بهره گرفت. پژوهش‌های انجام‌شده در این مورد نشان دهنده‌ی اهمیت این موضوع در این حوضه‌ها است. رسم منحنی‌های سنجه با برازش تابع توانی به داده‌های جریان و رسوب، به‌کارگیری عامل‌های تصحیح و رگرسیون غیرخطی، کوتاه کردن فاصله‌های نمونه‌برداری، رسم منحنی‌های سنجه‌رسوب مجزا برای فصل‌های مختلف سال و... باعث افزایش درستی و دقت منحنی‌ها می‌شود (Mirzaei et al., 2005). روشی دیگر در برآورد رسوب معلق، مدل‌سازی رسوب است، مدل‌سازی رسوبات معلق در مهندسی محیط‌زیست و

کلیه‌ی موادی که از تخریب پوسته زمین و انتقال آن‌ها به‌وسیله باد، آب و یخ به وجود می‌آیند یا در اثر اشباع مواد شیمیایی حل‌شده در آب منشأ گرفته‌اند و در نهایت به‌صورت لایه‌های در سطح پوسته زمین ته‌نشین می‌شوند، رسوب گفته می‌شود (Taleb Bidokhti et al., 2003). فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز مختلف متفاوت است و مقدار آن به عواملی مانند اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، پستی‌وبلندی و عوامل انسانی بستگی دارد (Ampomah et al., 2020; Jung et al., 2020; Norouzi et al., 2021). از عوامل مهم رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز می‌توان به تغییرات زمانی و مکانی آن و اندازه و دانه‌بندی رسوب اشاره کرد (Ahmadi, 2000). رودخانه‌ها عامل معنی‌دار ژئومورفولوژیکی هستند که وظیفه‌ی جابه‌جایی رسوبات را از سطح زمین تا اقیانوس‌ها بر عهده دارند (Rovira et al., 2012). رسوبات رودخانه‌ها مواد جامدی هستند که در اثر فعالیت‌های فیزیکی و شیمیایی و حاصل فرآیند فرسایش می‌باشند و جابه‌جایی آن‌ها به‌وسیله‌ی باد، یخچال‌های طبیعی و... انجام می‌گیرد (Honrabakhsh et al., 2018) و برآورد دقیق رسوب‌دهی حوضه از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است. رسوباتی که در حوضه به‌وسیله رودخانه به مخازن انتقال می‌یابند، ظرفیت ذخیره آن‌ها را کم می‌کنند همچنین بر میزان آب قابل‌استفاده برای نیروگاه‌های برق، آبیاری و کاربردهای خانگی و صنعتی تأثیرگذار است (Kumar and Rastogi, 1978). ازجمله ویژگی‌های مهم رژیم رسوب‌دهی حوزه آبخیز می‌توان به مقدار تولید رسوب، چگونگی و زمان رسوب‌دهی، اندازه و ترکیب دانه‌های رسوبی و انتقال آن‌ها بین شبکه‌ی آبراه‌ها اشاره کرد (Varwani et al., 2002). بار رسوبی درون جریان به‌صورت معلق و یا به‌صورت

<sup>1</sup> Sediment Rating Curves

منابع آب بر ظرفیت مخزن و عملکرد سد اهمیت زیادی دارد. انتقال رسوب معلق به‌عنوان یک فرآیند غیرخطی و پیچیده در رودخانه تابعی از پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی است (Nourani *et al.*, 2020). Farrokhzadeh و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی منطقه‌ای منحنی سنج رسوب در اقلیم‌های مختلف ایران پرداختند. در این تحقیق با تعیین و بررسی منحنی‌های سنج رسوب در برخی ایستگاه‌های دارای آمار و در نظر گرفتن برخی عوامل مؤثر در تولید رسوب، تأثیر یا عدم تأثیر این متغیرها بر تغییر منحنی‌های سنج در هر اقلیم به‌طور منطقه‌ای بررسی شد. به این منظور ۲۹ ایستگاه هیدرومتری با پراکنش مناسب جغرافیایی در سطح کشور گزینش و منحنی سنج آن‌ها رسم شد. نتایج نشان داد که در اقلیم مرطوب در سطح ۹۵ درصد، در اقلیم نیمه مرطوب در سطح ۹۹ درصد و در اقلیم خشک در سطح ۹۰ درصد، معنی‌دار بوده و در اقلیم نیمه‌خشک نیز رابطه معنی‌داری به دست نیامده است. Zounemat-Kermani و همکاران (۲۰۱۶) به مدل‌سازی غلظت رسوب معلق بر اساس مدل‌های داده‌محور پرداختند. آنان در مطالعه خود مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، SVR و منحنی سنج رسوب را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج بر اساس معیارهای ارزیابی در این مدل‌ها نشان داد که مدل‌های SVR و ANN به ترتیب ۲۳٪ و ۱۸٪ بهبود در پیش‌بینی و ۱۸٪ و ۱۵٪ بهبود در برآورد بیش از مدل‌های سنتی داشته است و مدل SVR با تابع RBF دارای عملکرد مناسب‌تری به‌منظور پیش‌بینی بار رسوبی معلق است. Sephvand و Azizi Najafkali (۲۰۱۹) به مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از مدل‌های فرآیند گوسی و پرسپترون چندلایه پرداختند. در این پژوهش برای پیش‌بینی رسوب معلق به مقایسه کارایی مدل‌های GP-RBF، GP-PUK، MLP پرداختند. نتایج نشان داد که مدل GP با کرنل RBF در مرحله آموزش و هم‌چنین مرحله آزمایش به‌عنوان بهترین تخمین‌گر برای تخمین رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه انتخاب شده است.

Panah و Ildam (۲۰۲۱) به مطالعه‌ی بهینه‌یابی مناسب‌ترین مدل برآورد رسوب معلق رودخانه‌ی سد شینه‌ی همدان پرداختند. در این پژوهش به بررسی مدل‌های USBR، منحنی حد وسط دسته‌ها، منحنی سنج عملی و FAO پرداختند. مدل‌ها با استفاده از روش اصلاحی تبدیل لگاریتم و مدل آماری ارزیابی شدند و بهترین مدل انتخاب شد. طبق نتایج مدل FAO با تعداد پارامترهای زیاد و خطای کم به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. Javidan و همکاران (۲۰۲۲) به تحلیل عملکرد روش‌های هیدرولوژیکی و داده‌مبنا در برآورد میزان رسوب معلق پرداختند. نتایج نشان داد که به ترتیب روش یادگیری بر پایه نمونه K و روش برنامه‌ریزی بیان ژن رسوب معلق را با دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های مورد مطالعه برآورد کردند. Beiranvand و همکاران (۲۰۲۳) به مطالعه مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در حوضه‌ی کشکان پرداختند. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری به بررسی کارایی مدل‌های RF، REPTree، GP-PUK، GP-RBF و MSP با توجه به معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق برای برآورد رسوب معلق پرداختند که نتایج نشان داد مدل GP-PUK نسبت به سایر مدل‌ها در همه‌ی ایستگاه‌های در نظر گرفته‌شده در این حوضه از عملکرد بهتری برخوردار بوده و به‌عنوان مدل برتر در این پژوهش انتخاب شده است. با توجه به اینکه اندازه‌گیری بار رسوبی در رودخانه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری و هم‌چنین در روزهای خاصی انجام می‌گیرد، لذا برای محاسبه بار رسوبی، تخمین غلظت برای روزهایی که هیچ اندازه‌گیری انجام نمی‌شود، ضروری است (Girolamo *et al.*, 2018). هم‌چنین برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها برای انجام کارهای مهندسی همواره امری ضروری بوده و برآورد صحیح آن، موجب جلوگیری از صرف هزینه‌های گزاف خواهد شد. لذا هدف این تحقیق مقایسه و ارزیابی کارایی روش منحنی سنج رسوب و الگوریتم‌های

بیرانوند و همکاران

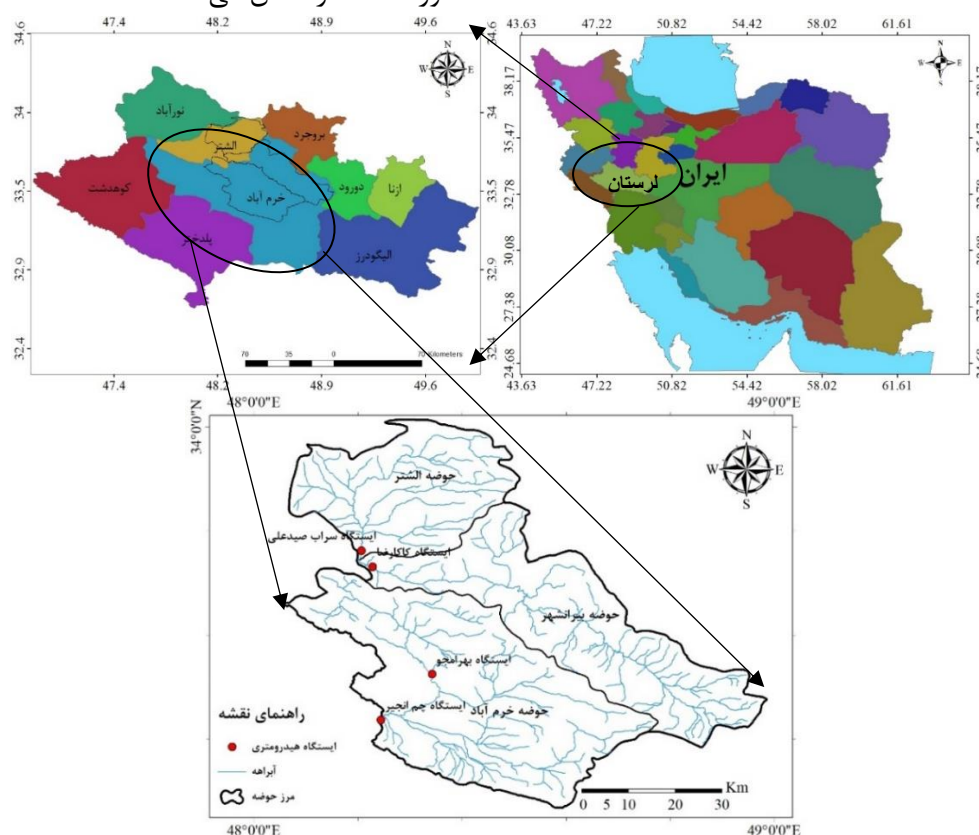
یادگیری ماشین جهت انتخاب مدل بهینه برای برآورد رسوب معلق در برخی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌های کارستی استان لرستان است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر از نظر ژئومورفولوژیکی در بخش مرکزی سلسله جبال زاگرس در استان لرستان قرار دارد که خود بخشی از حوزه آبخیز کرخه است. حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و

بیرانشهر در مجموع با مساحت ۳۵۶۲/۱۲ کیلومترمربع مطابق شکل ۱ بین طول‌های جغرافیایی  $33^{\circ} 04' 02''$  تا  $33^{\circ} 16' 05''$  شرقی و عرض‌های  $48^{\circ} 59' 07''$  تا  $48^{\circ} 01' 07''$  شمالی قرار دارد. بلندترین نقطه در بخش شمالی با ارتفاع ۳۵۷۸ متر و پست‌ترین نقطه در بخش غربی، یعنی خروجی حوضه با ارتفاع ۱۱۵۸ متر از سطح دریا قرار دارند. میانگین بارندگی سالیانه منطقه بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر بوده و دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است (Sephvand et al., 2020). جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

Figure 1- Geographical location of the studied hydrometric stations

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Geographical characteristics of the studied stations

| نام ایستگاه | طول جغرافیایی    | عرض جغرافیایی    | دوره آماری |
|-------------|------------------|------------------|------------|
| بهرام‌جو    | $48^{\circ} 17'$ | $33^{\circ} 34'$ | 1385-1399  |
| چم‌انجیر    | $48^{\circ} 12'$ | $33^{\circ} 52'$ | 1379-1399  |
| کاکارضا     | $48^{\circ} 15'$ | $33^{\circ} 42'$ | 1379-1399  |
| سراب سیدعلی | $48^{\circ} 15'$ | $33^{\circ} 30'$ | 1379-1399  |

## روش تحقیق

برای برآورد رسوب معلق، به بررسی کارایی منحنی سنج رسوب و برخی مدل‌های یادگیری ماشین شامل مدل‌های GP و SVM با کرنل‌های RBF، PUK و RF، REPTree و MSP در ایستگاه‌های بهرام‌جو، چمن‌انجیر، سراب صیدعلی و کاکارضا (شکل ۱) در محیط Weka 3.9، پرداخته شده است. در روش منحنی سنج رسوب داده‌های ایستگاه‌های بهرام‌جو، چمن‌انجیر، سراب صیدعلی و کاکارضا مطابق دوره آماره جدول ۱ استفاده شده است. برای رسم منحنی سنج رسوب هر ایستگاه، داده‌های رسوب معلق و دبی در دو ستون قرار گرفته و منحنی مربوطه به صورت توانی رسم شد. سپس با استفاده از معیارهای ارزیابی خطای در نظر گرفته شده به بررسی کارایی آن پرداخته شد. در مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری، داده‌های ورودی شامل دما، بارش، دبی، دبی یک روز و دبی دو روز قبل بوده و همچنین داده‌ی رسوب معلق به عنوان خروجی در نظر گرفته شد. در این پژوهش از ۷۰ درصد کل داده‌ها برای آموزش و از ۳۰ درصد باقیمانده جهت آزمایش مدل استفاده شد. داده‌های بخش‌های آموزش و آزمایش، پس از نرمال‌سازی (رابطه ۱) جهت استفاده در فرآیند مدل‌سازی به مدل معرفی شدند. در نهایت مدل بهینه جهت تخمین رسوب معلق با استفاده از معیارهای سنجش خطای ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق (جدول ۲) تعیین شد.

$$X_{new} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

که در آن:  $X_{new}$  مقدار داده نرمال شده در محدوده ۰ تا ۱،  $X$  مقدار داده مشاهداتی،  $X_{min}$  کم‌ترین مقدار داده مشاهداتی و  $X_{max}$  بیشترین مقدار داده مشاهداتی است. در ادامه به توضیح مختصری از روش‌های استفاده‌شده و معیارهای ارزیابی استفاده شده در تحقیق پرداخته شده است.

## منحنی سنج رسوب

منحنی سنج رسوب بر اساس بهترین خط برازش یافته بین میزان دبی جریان عبوری و رسوب متناظر با آن رسم می‌گردد و به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود (Zoratipour et al., 2008).

$$Q_s = aQ_w^b \quad (2)$$

که در این رابطه  $Q_s$  دبی رسوب معلق بر حسب تن بر روز،  $Q_w$  دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه و  $a$  و  $b$  ضرایب معادله می‌باشند.

## مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)

روش ماشین بردار پشتیبان یک روش رگرسیون و طبقه‌بندی است که مبتنی بر تئوری آموزش ریاضیاتی است که برای اولین مرتبه ساختار مدل SVM توسط Vapnik (۱۹۹۵) که یک ریاضیدان روسی در دهه ۱۹۶۰ بود، ارائه شد (Sepahvand et al., 2018). مدل‌های SVM که بر پایه تئوری آموزش احتمال قرار دارند، یک کلاس جدید از مدل‌هایی هستند که به منظور طبقه‌بندی و پیش‌بینی در علوم مختلف استفاده می‌شوند. روش‌های طبقه‌بندی SVM بر اساس اصول تفکیک مطلوب طبقات مختلف است که اگر طبقات قابل تفکیک باشند، این روش از میان تعداد نامحدود طبقه‌بندی‌های خطی، آن را انتخاب می‌کند که دارای حداقل باشد.

## مدل REPTree<sup>۲</sup>

مدل REPTree، یک مدل از مجموعه درخت تصمیم‌گیری (DT) است که برای رفع مشکلات طبقه‌بندی و رگرسیون کارآمد است (Quinlan, 1992). الگوریتم REPTree یک درخت رگرسیون تصمیم‌گیری است که به وسیله تقسیم و هرس کردن درخت رگرسیون، تصمیم‌گیری را بر اساس بالاترین اطلاعات مقدار سود (IGR)، تشکیل می‌دهد که مقدار IGR بر اساس تابع آنتروپی (E) و مطابق رابطه (۳) محاسبه شده است.

<sup>2</sup> Reduced Error Pruning Tree

بیرانوند و همکاران

(*et al.*, 2020). مدل‌های رگرسیون فرآیند گوسی بر مبنای این فرض هستند که مشاهدات تنظیم باید دارای اطلاعاتی درباره یکدیگر باشد. این فرآیند راهی برای مشخص کردن اولییتی به صورت مستقیم روی فضای تابع هستند (Yang *et al.*, 2018). مدل‌های فرآیند گوسی به دلیل دانش قبلی درباره وابستگی‌های تابعی و داده‌ها، برای تعمیم به هیچ فرآیند اعتبارسنجی نیاز ندارند و قادر به درک توزیع پیش‌بینی متناظر با ورودی آزمون‌ها هستند (Pal and Deswal, 2010). فرآیند گوسی تعمیمی از توزیع گوسی است. توزیع گوسی در واقع توزیع بین متغیرهای تصادفی بوده، درحالی‌که فرآیند گوسی بیانگر توزیع بین توابع است. فرآیند گوسی  $f(x)$  می‌تواند به صورت رابطه (۵) بیان شود:

$$f(x) \sim GP(m(x), k(x, x')) \quad (5)$$

که در آن: GP فرآیند گوسی،  $m(x)$  تابع میانگین بوده که معمولاً جهت ساده‌سازی برابر صفر در نظر گرفته می‌شود،  $k(x, x')$  تابع کواریانس در نقاط  $x$  و  $x'$  و  $f(x)$  تابع فرآیند گوسی است.

### مدل جنگل تصادفی<sup>۳</sup>

الگوریتم RF نخستین بار توسط Breiman (۱۹۹۶) ارائه شد و به عنوان روشی دقیق در تهیه نقشه کاربری اراضی و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است (Pal, 2005; Prasad *et al.*, 2006). رگرسیون RF شامل ترکیبی از متغیرها در هر گره برای رشد یک درخت یا استفاده از متغیر ورودی تصادفی انتخاب شده است (Breiman, 1996). برای رگرسیون RF دو پارامتر لازم توسط کاربر تعریف شود: تعداد متغیرهای ورودی (متر) استفاده شده در هر گره برای تولید یک درخت و تعداد درختان قابل رشد در هر گره، فقط متغیرهای انتخاب شده برای بهترین تقسیم جستجو می‌شوند (Sepahvand *et al.*, 2020).

### معیارهای ارزیابی کارایی مدل

$$IGR(X, S) = \frac{E(S) = \sum_{i=1}^n x = \frac{E(S) |S_i|}{|S|}}{- \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} \log_2 \frac{|S_i|}{|S|}} \quad (3)$$

که در آن: T ضریب تصادفی، H(T|a) آنترپی T برای محاسبه خصوصیات a، زمان رویداد، N(t) تعداد کل رخدادها و IGR اطلاعات مقدار سود می‌باشد.

### الگوریتم درخت تصمیم M5P Tree

یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های مدل درختی، الگوریتم M5 است. این الگوریتم اولین بار توسط کوئینلان در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد شد (Quinlan, 1992). سپس الگوریتم M5P که در واقع بازسازی منطقی و توسعه یافته از M5 است، توسط ونگ و ویتن در سال ۱۹۹۷ معرفی شد (Wang and Witten, 1997). این مدل‌ها یکی از روش‌های نسبتاً جدید و قدرتمند هوش محاسباتی است که به علت قابلیت مناسب آن، توسط محققان مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. سادگی محاسبه‌ها و دقت نتایج از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل است (Bonakdar and Etemad Shahidi, 2011). کاهش انحراف معیار مطابق رابطه (۴) محاسبه شده است (Wang and Witten, 1997).

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (4)$$

که در آن: T بیانگر یکسری نمونه‌هایی است که به گره می‌رسند،  $T_i$  بیانگر یکسری نمونه‌هایی است که i امین برآمد تست پتانسیلی را دارند، sd بیانگر انحراف معیار و SDR کاهش انحراف معیار است.

### الگوریتم تابع فرآیند گوسی

فرآیند گوسی مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است که تعداد محدودی از آن‌ها با توزیع‌های گوسی ادغام شده‌اند. توزیع گوسی در واقع توزیع بین متغیرهای تصادفی بوده، درحالی‌که فرآیند گوسی بیانگر توزیع بین توابع است که اولویت‌بندی متغیرها را انجام می‌دهد (Yang *et al.*, 2018; Samadianfard).

<sup>3</sup> Random Forest

خطای مطلق (MAE) در مرحله آموزش و آزمایش استفاده شد (جدول ۲). بر این اساس هر چه میزان CC بیشتر و میزان RMSE و MAE کمتر باشد، مدل از کارایی بیشتری برای ارائه بهترین جواب برخوردار است.

در این تحقیق برای ارزیابی کارایی روش‌های استفاده‌شده در برآورد رسوب معلق، از رابطه‌های ۶ تا ۸ معیارهای سنجش خطای ضریب همبستگی (CC)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین

جدول ۲- معیارهای سنجش خطا

Table 2- Error measurement criteria

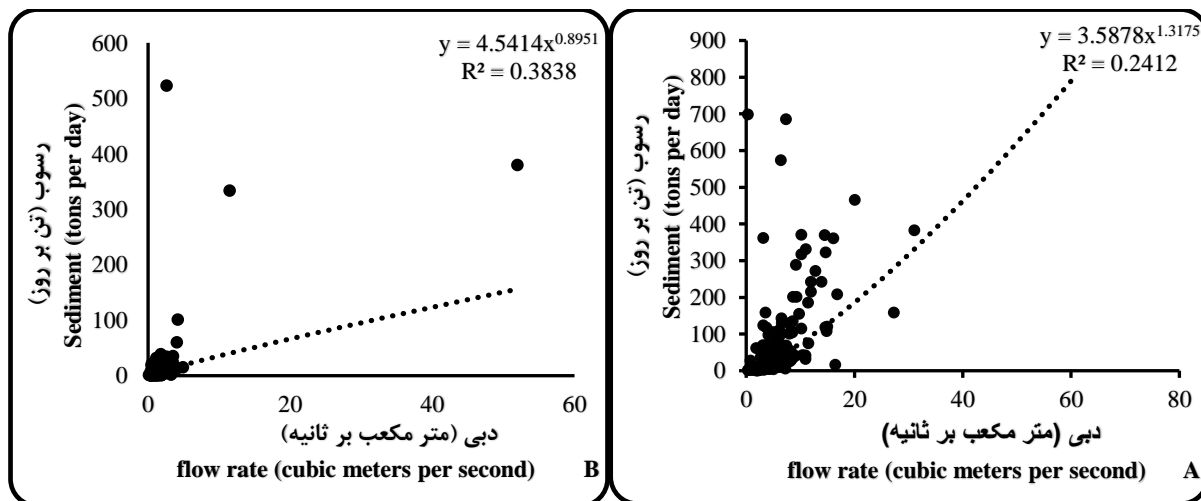
| مقدار بهینه | رابطه   | معیارهای سنجش خطا                    |
|-------------|---|--------------------------------------|
| یک          | $CC = \frac{N \sum HF - (\sum H)(\sum F)}{\sqrt{N(\sum H^2) - (\sum H)^2} \sqrt{N(\sum F^2) - (\sum F)^2}} \quad (6)$ | ضریب همبستگی <sup>۱</sup>            |
| صفر         | $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (H - F)^2} \quad (7)$  | ریشه میانگین مربعات خطا <sup>۲</sup> |
| صفر         | $MAE = \frac{1}{N} \sum_1^N  H - F  \quad (8)$  | میانگین خطای مطلق <sup>۳</sup>       |

H: داده‌های مشاهده‌شده، F: داده‌های برآورد شده، N: تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده

ایستگاه ضریب همبستگی و رابطه توانی مشخص شد. همچنین جدول ۳ نتایج حاصل از ارزیابی کارایی منحنی سنج رسوب را در برآورد رسوب معلق نشان می‌دهد.

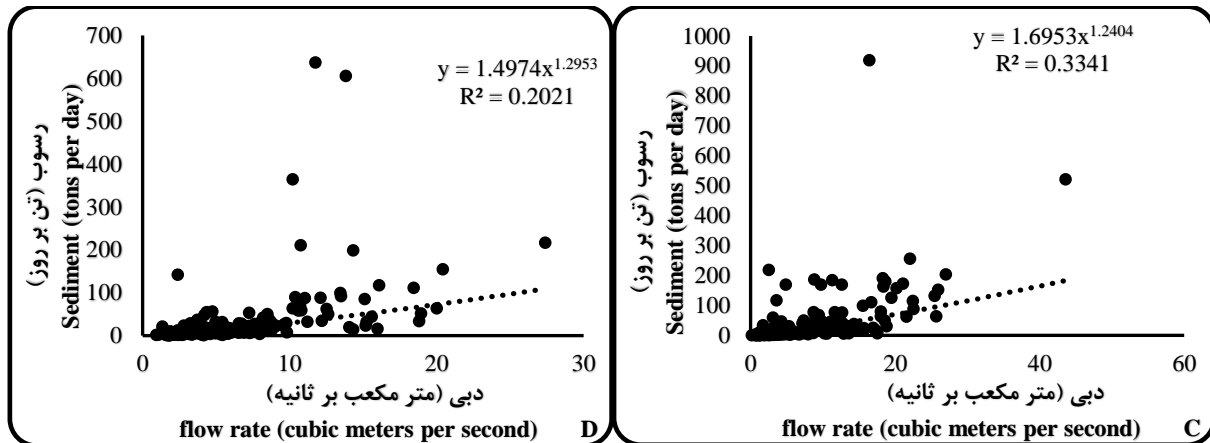
## نتایج

شکل ۲ منحنی‌های سنج رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری چمنجیر، بهرام‌جو، کاکارضا و سراب صیدعلی را نشان می‌دهد که مطابق آن برای هر



<sup>2</sup> Root Mean Square Error  
<sup>3</sup> Mean Absolute Error

<sup>1</sup> Correlation Coefficient



شکل ۲- منحنی سنجهرسوب ایستگاه A چم انجیر، B بهرام جو، C کاکارضا و D سراب صیدعلی

Figure 2- Sediment rating curve of Cham Anjir (A), Bahram Joo (B), Kaka Reza (C) and Sarab Seyd Ali (D) stations

جدول ۳- نتایج ارزیابی کارایی منحنی سنجهرسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

Table 3- The results of evaluating the efficiency of the sediment gauge curve in the studied hydrometric stations

| نام ایستگاه | RMSE | MAE   | CC    |
|-------------|------|-------|-------|
| بهرام جو    | 3.26 | 12.56 | 24.92 |
| چم انجیر    | 1.08 | 50.11 | 59.41 |
| سراب صیدعلی | 4.70 | 22.67 | 15.07 |
| کاکارضا     | 5.33 | 29.47 | 19.96 |

رسوب معلق در بخش آموزش به ترتیب برابر با ۰/۴۹ و ۱۱۶۱/۷ تن بر روز در ایستگاه‌های هیدرومتری بهرام جو و چم انجیر بوده است و همچنین در بخش آزمایش مدل کمترین مقدار رسوب معلق برابر ۰/۱۸ تن بر روز در ایستگاه هیدرومتری کاکارضا و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه چم انجیر برابر ۲۷۶۰/۹۲ تن بر روز است. جدول ۵ پارامترهای بهینه‌ی مربوط به مدل‌های مختلف استفاده‌شده در تحقیق را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از شکل ۲ و جدول ۳ نشان می‌دهند که روش منحنی سنجهرسوب در ایستگاه‌های موردنظر در بازه‌های زمانی استفاده‌شده دارای کارایی پایینی بوده است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول، ایستگاه هیدرومتری چم انجیر نسبت به سایر ایستگاه‌های هیدرومتری از عملکرد بهتری برخوردار بوده است. جدول ۴ خصوصیات آماری داده‌های ورودی و خروجی استفاده‌شده در فرآیند مدل‌سازی مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق نتایج جدول ۴ مشخص شد که کمترین و بیشترین میزان

جدول ۴- خصوصیات آماری داده‌های ورودی و خروجی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4- Statistical characteristics of the input and output data of the studied stations

| بهرام جو                           |        |         |         |              |        |         |         |
|------------------------------------|--------|---------|---------|--------------|--------|---------|---------|
| آموزش                              |        |         |         | آزمایش       |        |         |         |
| ورودی و خروجی                      | کمترین | بیشترین | میانگین | انحراف معیار | کمترین | بیشترین | میانگین |
| دما (C)                            | 2.05   | 30.88   | 16.41   | 8.961        | 5.80   | 30.28   | 17.86   |
| بارش (mm)                          | 0.00   | 162.0   | 34.08   | 38.02        | 0.00   | 220.5   | 39.91   |
| دبی (m <sup>3</sup> /s)            | 1.67   | 35.55   | 6.98    | 5.261        | 0.99   | 43.66   | 9.34    |
| دبی یک روز قبل (m <sup>3</sup> /s) | 1.40   | 35.55   | 6.93    | 5.21         | 0.95   | 43.66   | 9.60    |
| دبی دو روز قبل (m <sup>3</sup> /s) | 1.68   | 35.55   | 7.00    | 5.22         | 0.95   | 43.66   | 9.65    |

|                    |       |         |       |         |       |         |       |                                    |
|--------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|------------------------------------|
| 7.30               | 7.08  | 35.46   | 1.22  | 40.11   | 12.92 | 333.8   | 0.49  | رسوب معلق (ton/day)                |
| <b>چمانجیر</b>     |       |         |       |         |       |         |       |                                    |
| 8.64               | 17.41 | 30.51   | 4.10  | 8.50    | 17.42 | 31.24   | 2.93  | دما (C)                            |
| 48.69              | 37.88 | 220.5   | 0     | 48.47   | 37.64 | 221     | 0     | بارش (mm)                          |
| 8.68               | 6.85  | 60      | 0.8   | 4.26    | 6.02  | 31.1    | 0.33  | دبی (m <sup>3</sup> /s)            |
| 8.60               | 6.942 | 60      | 0.8   | 4.43    | 5.92  | 31.1    | 0     | دبی یک روز قبل (m <sup>3</sup> /s) |
| 8.52               | 6.79  | 60      | 0.8   | 4.42    | 5.90  | 31.1    | 0     | دبی دو روز قبل (m <sup>3</sup> /s) |
| 466.29             | 137.5 | 2760.92 | 0.555 | 149.14  | 78.79 | 1161.7  | 1     | رسوب معلق (ton/day)                |
| <b>سراب صیدعلی</b> |       |         |       |         |       |         |       |                                    |
| 8.44               | 28.17 | 40.4    | 12.2  | 8.84    | 27.04 | 42.2    | 10.6  | دما (C)                            |
| 57.97              | 43.41 | 255     | 0     | 48.11   | 41.63 | 219.5   | 0     | بارش (mm)                          |
| 9.20               | 8.42  | 70      | 1.1   | 3.90    | 5.66  | 27.4    | 0.93  | دبی (m <sup>3</sup> /s)            |
| 4.62               | 7.15  | 20.42   | 1.1   | 3.99    | 5.79  | 27.4    | 0.93  | دبی یک روز قبل (m <sup>3</sup> /s) |
| 4.65               | 7.09  | 20.42   | 1.1   | 3.98    | 5.81  | 27.4    | 0.93  | دبی دو روز قبل (m <sup>3</sup> /s) |
| 181.35             | 42.45 | 1435.39 | 0.459 | 61.88   | 25.03 | 636.483 | 1.16  | رسوب معلق (ton/day)                |
| <b>کاکارضا</b>     |       |         |       |         |       |         |       |                                    |
| 8.38               | 27.61 | 40.4    | 12.2  | 8.89    | 27.15 | 42.2    | 10.6  | دما (C)                            |
| 73.88              | 64.41 | 309     | 0     | 58.61   | 52.11 | 257     | 0     | بارش (mm)                          |
| 6.64               | 7.65  | 140.1   | 0.18  | 13.83   | 7.03  | 25.98   | 0.62  | دبی (m <sup>3</sup> /s)            |
| 6.40               | 6.95  | 25.98   | 0.18  | 13.82   | 7.84  | 144.39  | 0     | دبی یک روز قبل (m <sup>3</sup> /s) |
| 6.37               | 6.97  | 25.98   | 0.62  | 13.81   | 7.88  | 144.39  | 0     | دبی دو روز قبل (m <sup>3</sup> /s) |
| 33.64              | 66.49 | 1635.2  | 0.018 | 5637.56 | 71.58 | 191.1   | 0.622 | رسوب معلق (ton/day)                |

جدول ۵- پارامترهای بهینه‌ی مدل‌های یادگیری

Table 5- Optimal parameters of learning models

| چمانجیر  |         | بهرام‌جو  |         |
|--|---------|---|---------|
| پارامتر بهینه  | مدل     | پارامتر بهینه   | مدل     |
| C=1, N=0, T=0.001, P=1, E=12, L=0.001, W=1, PUK, O=1, S=1  | SVM-PUK | C=1, N=1, T=0.001, P=1, E=12, L=0.9, W=1, PUK, O=1, S=0.001 | SVM-PUK |
| C=1, N=0, T=0.001, P=1, E=12, L=0.1, W=1, RBF, G=1.9       | SVM-RBF | C=1, N=1, T=0.001, P=1, E=12, L=0.001, W=1, RBF, G=3.9      | SVM-RBF |
| Gaussian noise = 0.1, $\omega=0.5$ , $\sigma=2$            | GP-PUK  | Gaussian noise = 0.1, $\omega=8.5$ , $\sigma=1$             | GP-PUK  |
| Gaussian noise = 0.1, $\gamma=0.01$                        | GP-RBF  | Gaussian noise = 0.1, $\gamma=4$                            | GP-RBF  |
| num-decimal-places=0, M=4                                  | M5P     | num-decimal-places=0, M=4                                   | M5P     |
| M=2, V=0.001, N=3, S=1                                     | REPTree | M=2, V=0.001, N=3, S=3                                      | REPTree |
| K=0, M=1, V=0.001, S=1                                     | RF      | K=2, M=1, V=0.001, S=1                                      | RF      |
| کاکارضا  |         | سراب صیدعلی   |         |
| C=1, N=0, T=0.001, P=1, E=12, L=0.1, W=1, PUK, O=0.01, S=1 | SVM-PUK | C=1, N=0, T=0.001, P=1, E=12, L=0.1, W=1, PUK, O=0.3, S=1   | SVM-PUK |
| C=1, N=1, T=0.001, P=1, E=12, L=0.1, W=1, RBF, G=0.01      | SVM-RBF | C=1, N=0, T=0.001, P=1, E=12, L=0.1, W=1, RBF, G=0.2        | SVM-RBF |
| Gaussian noise = 0.01, $\omega=1$ , $\sigma=1$             | GP-PUK  | Gaussian noise = 0.1, $\omega=0.5$ , $\sigma=1.5$           | GP-PUK  |
| Gaussian noise = 1, $\gamma=0.01$                          | GP-RBF  | Gaussian noise = 0.5, $\gamma=1$                            | GP-RBF  |
| num-decimal-places=0, M=4                                  | M5P     | num-decimal-places=0, M=4                                   | M5P     |
| M=0, V=0.001, N=3, S=1                                     | REPTree | M=2, V=0.001, N=3, S=1                                      | REPTree |
| K=0, M=1, V=0.001, S=1                                     | RF      | K=0, M=1, V=0.001, S=1                                      | RF      |

بخش‌های آموزش و آزمایش نشان می‌دهد.

جدول ۶ نتایج مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در این تحقیق را در

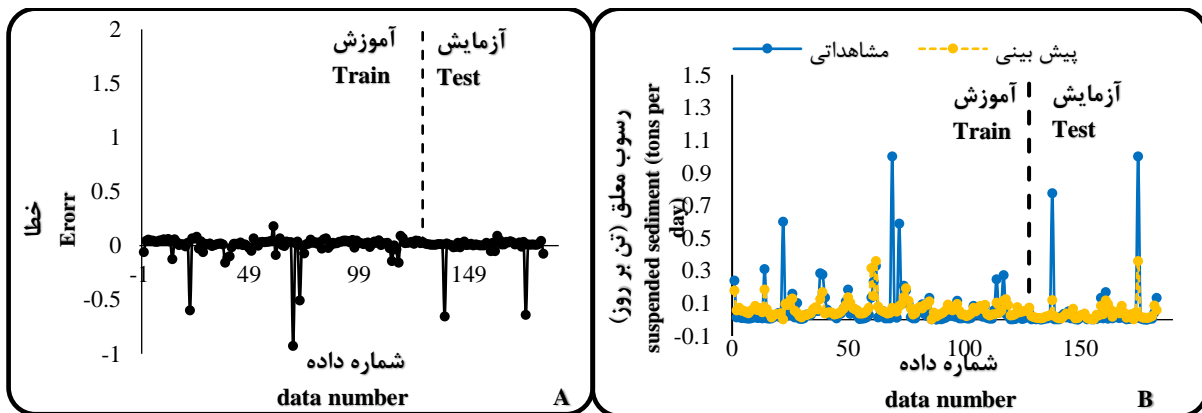
جدول ۶- پارامترهای ارزیابی عملکرد مدل SVM با کرنل‌های RBF و PUK

Table 6- Performance evaluation parameters of SVM model with RBF and PUK kernels

| چمانجیر |       |      |       |        |        | بهرام‌جو    |      |      |       |       |       |              |
|---------|-------|------|-------|--------|--------|-------------|------|------|-------|-------|-------|--------------|
| آزمایش  |       |      | آموزش |        |        | آزمایش      |      |      | آموزش |       |       | مدل<br>Model |
| CC      | MAE   | RMSE | CC    | MAE    | RMSE   | CC          | MAE  | RMSE | CC    | MAE   | RMSE  |              |
| 0.70    | 0.04  | 0.14 | 0.53  | 0.02   | 0.10   | 0.20        | 0.12 | 0.21 | 0.93  | 0.10  | 0.13  | SVM-PUK      |
| 0.80    | 0.09  | 0.15 | 0.45  | 0.08   | 0.12   | 0.21        | 0.15 | 0.25 | 0.60  | 0.01  | 0.10  | SVM-RBF      |
| 0.53    | 0.06  | 0.14 | 0.70  | 0.03   | 0.09   | 0.20        | 0.14 | 0.25 | 0.99  | 0.001 | 0.003 | GP-PUK       |
| 0.62    | 0.06  | 0.13 | 0.47  | 0.05   | 0.11   | 0.21        | 0.14 | 0.25 | 0.9   | 0.001 | 0.002 | GP-RBF       |
| 0.85    | 0.04  | 0.12 | 0.88  | 0.05   | 0.1    | 0           | 0.14 | 0.24 | 0     | 0.04  | 0.11  | M5P          |
| 0.83    | 0.4   | 0.12 | 0.68  | 0.03   | 0.09   | 0.13        | 0.14 | 0.24 | 0.19  | 0.04  | 0.11  | REPTree      |
| 0.66    | 0.05  | 0.13 | 0.95  | 0.02   | 0.04   | 0.26        | 0.13 | 0.24 | 0.88  | 0.03  | 0.09  | RF           |
| کاکارضا |       |      |       |        |        | سراب صیدعلی |      |      |       |       |       |              |
| آزمایش  |       |      | آموزش |        |        | آزمایش      |      |      | آموزش |       |       | مدل<br>Model |
| CC      | MAE   | RMSE | CC    | MAE    | RMSE   | CC          | MAE  | RMSE | CC    | MAE   | RMSE  |              |
| 0.73    | 0.13  | 0.21 | 0.99  | 0.10   | 0.10   | 0.63        | 0.09 | 0.13 | 0.77  | 0.08  | 0.10  | SVM-PUK      |
| 0.84    | 0.13  | 0.24 | 0.94  | 0.01   | 0.07   | 0.86        | 0.08 | 0.12 | 0.52  | 0.08  | 0.10  | SVM-RBF      |
| 0.73    | 0.09  | 0.17 | 0.99  | 0.0002 | 0.0004 | 0.73        | 0.02 | 0.10 | 0.99  | 0.008 | 0.002 | GP-PUK       |
| 0.80    | 0.08  | 0.17 | 0.92  | 0.01   | 0.05   | 0.55        | 0.03 | 0.11 | 0.92  | 0.01  | 0.04  | GP-RBF       |
| 0.87    | 0.077 | 0.11 | 0.94  | 0.008  | 0.02   | 0.89        | 0.02 | 0.08 | 0.81  | 0.02  | 0.08  | M5P          |
| 0.79    | 0.12  | 0.20 | 0.99  | 0.001  | 0.005  | 0.95        | 0.02 | 0.10 | 0.64  | 0.02  | 0.07  | REPTree      |
| 0.82    | 0.08  | 0.14 | 0.99  | 0.003  | 0.02   | 0.60        | 0.03 | 0.10 | 0.95  | 0.01  | 0.03  | RF           |

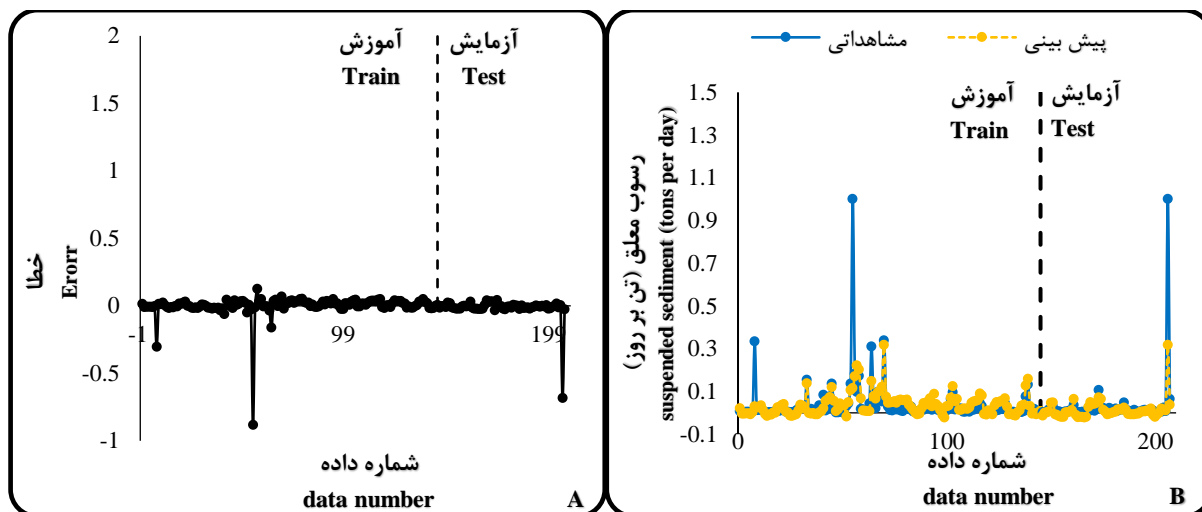
سراب صیدعلی برابر ۰/۰۸، ۰/۰۲ و ۰/۸۹ محاسبه شده‌اند. در ایستگاه بهرام‌جو به دلیل تعداد کم طول دوره‌ی آماری هیچ‌یک از مدل‌ها نتایج خوبی از خود ارائه نداده‌اند. شکل‌های ۳ تا ۵ نمودار داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی رسوب معلق و نمودار داده‌های خطا برای مدل برتر هر ایستگاه هیدرومتری را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های کاکارضا، چمانجیر و سراب صیدعلی مدل M5P نسبت به سایر مدل‌ها در بخش آموزش و آزمایش از عملکرد بهتری برخوردار بوده است. معیارهای ارزیابی خطا شامل ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی در بخش آزمایش مدل‌ها به ترتیب در ایستگاه چمانجیر برابر ۰/۱۲، ۰/۰۴ و ۰/۸۵، ایستگاه کاکارضا برابر ۰/۱۱، ۰/۰۷۷ و ۰/۸۷ و ایستگاه

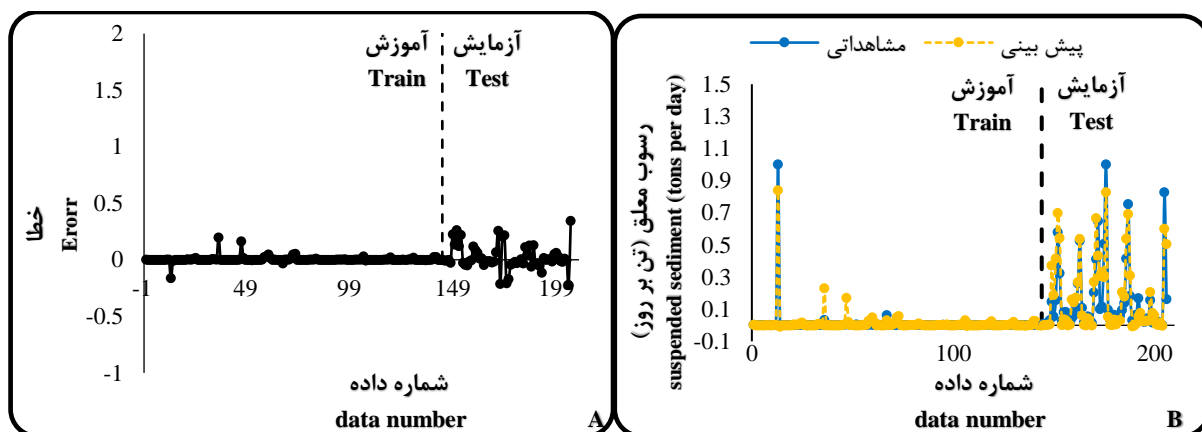


شکل ۳- نمودار داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی (A) و نمودار داده‌های خطا (B) مدل M5P ایستگاه چمانجیر

Figure 3- Observation and prediction data graph (A) and error data graph (B) of M5P model of Cham Anjir station



شکل ۴- نمودار داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی (A) و نمودار داده‌های خطا (B) مدل M5P ایستگاه سراب سیدعلی  
 Figure 4- Observation and prediction data graph (A) and error data graph (B) of REPTree model of Sarab SeydAli station



شکل ۵- نمودار داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی (A) و نمودار داده‌های خطا (B) مدل M5P ایستگاه کاکارضا  
 Figure 5- Observation and prediction data graph (A) and error data graph (B) of M5P model of KakaReza station

سنج‌رسوب برای ایستگاه‌های مختلف رسم شد که نشان داد ایستگاه بهرام‌جو میزان  $R^2$  ابر ۰/۳۸۳۸ به‌دست‌آمده که نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر بوده است. در بحث برآورد رسوب با استفاده از منحنی سنج‌رسوب نتایج نشان داد با توجه به معیارهای ارزیابی استفاده‌شده نتایج خوبی نشان نداده است. ایستگاه چمانجیر نسبت به سایر ایستگاه‌ها نتایج بهتری ارائه داده است که میزان معیارهای سنجش خطای C.C, MAE و RMSE در این ایستگاه به ترتیب برابر با ۵۹/۴۱، ۵۰/۱۱، ۱/۰۸ است. در بخش مربوط به مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری مشخص شد که نتایج حاصل از مدل‌سازی بهتر از نتایج بخش منحنی سنج‌رسوب بوده است و

### بحث و نتیجه‌گیری

رسوباتی که توسط آب حمل می‌شوند را رسوبات معلق می‌گویند. برآورد دقیق میزان رسوب حوضه از اهمیت زیادی برخوردار است. برای برآورد میزان رسوب حوضه روش‌های متعددی وجود دارد. در این تحقیق به برآورد رسوب رودخانه‌های کارستی در ایستگاه‌های بهرام‌جو، چمانجیر، سراب سیدعلی و کاکارضا با استفاده از روش‌های منحنی سنج‌رسوب و مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های GP و SVM با کرنل‌های RBF و PUK و مدل‌های RF, REPTree, M5P پرداخته شده است. معیارهای ارزیابی عملکرد روش‌های استفاده‌شده در این تحقیق شامل RMSE, MAE, CC می‌باشند. با استفاده از داده‌های دبی و رسوب، منحنی

نتایج قابل‌اعتمادتری ارائه داده است. با توجه به نتایج این بخش مشخص شد که مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری در ایستگاه هیدرومتری بهرام‌جو نسبت به سایر ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی در این تحقیق، مدل‌ها عملکرد پایین‌تری برای تخمین رسوب معلق از خود نشان داده‌اند. در ایستگاه هیدرومتری بهرام‌جو به دلیل طول کم دوره‌ی آماری هیچ‌یک از مدل‌ها و همچنین منحنی سنج‌رسوب نتایج خوبی از خود نشان نداده‌اند. در ایستگاه‌های هیدرومتری چمن‌انجیر، سراب صیدعلی و کاکارضا تقریباً همه‌ی مدل‌ها در بخش آزمایش نتایج خوبی داشته‌اند ولی مدل M5P نسبت به سایر مدل‌ها با توجه به معیارهای سنجش خطا در بخش‌های آموزش و آزمایش نتایج بهتری داشته و عملکرد بهتری از خود نشان داده است. نتایج به‌دست‌آمده در بخش آزمایش مدل M5P با توجه به معیارهای ارزیابی شامل ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی در ایستگاه هیدرومتری چمن‌انجیر به ترتیب برابر با ۰/۱۲، ۰/۰۴ و ۰/۸۵ است، در ایستگاه سراب صیدعلی برابر ۰/۰۸، ۰/۰۲ و ۰/۸۹ بوده و در ایستگاه کاکارضا به همین ترتیب برابر ۰/۱۱، ۰/۰۷ و ۰/۸۷ است. در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در ایستگاه‌های هیدرومتری موردنظر با توجه به داده‌های ورودی و خروجی موردنظر برای برآورد رسوب معلق الگوریتم‌های یادگیری ماشین نسبت به روش منحنی سنج‌رسوب از عملکرد و کارایی بهتری برخوردار بوده‌اند که بر اساس نتایج تحقیق مدل M5P نسبت به سایر مدل‌ها برتری داشته است. Satari et al (2016) به ارزیابی عملکرد روش‌های مدل درختی M5 و رگرسیون بردار پشتیبان در مدل‌سازی رسوب معلق پرداختند. معیارهای ارزیابی خطا در این تحقیق شامل ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق بوده است. نتایج نشان داده مدل‌ها هر دو عملکرد خوبی داشته‌اند و مدل درختی M5 نسبت به رگرسیون بردار پشتیبان برتری داشته

است که با نتایج این تحقیق همخوانی داشته است. Moradinezhad et al., (2020) در بررسی کارایی روش‌های برآورد بار رسوب معلق رودخانه قره‌چای به مقایسه روش‌های شبکه مصنوعی، نروفازی، منحنی سنج‌رسوب و رگرسیون چند متغیره پرداختند. معیارهای سنجش خطا در این تحقیق  $R^2$  و RMSE بودند که نتایج نشان داد روش‌های نروفازی و شبکه مصنوعی نسبت به روش‌های چند متغیره و منحنی سنج‌رسوب عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. نتایج این تحقیق با نتایج Shahinejad et al., (2022) که در تحقیق خود برای برآورد رسوب معلق با استفاده از مدل‌های ناپارامتریک M5 و رگرسیون تطبیقی چند متغیره اسپلین (MARS) به این نتیجه رسیدند که منحنی سنج‌رسوب نسبت به سایر روش‌های استفاده‌شده از دقت پایینی در برآورد رسوب معلق برخوردار است نیز همخوانی دارد. همچنین با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق Naseri et al., (2020) مطابقت دارد، زیرا آن‌ها در تحقیق خود در بهینه‌سازی ضرایب معادله سنج‌رسوب با استفاده از الگوریتم ژنتیک به این نتیجه رسیدند که منحنی سنج‌رسوب نسبت به سایر روش‌های استفاده شده در برآورد رسوب از دقت کمتری برخوردار است و همچنین این روش تحت تأثیر تعداد داده است. در تحقیق حاضر هم نتایج استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تحت تأثیر تعداد داده بود زیرا در ایستگاه بهرام‌جو، نتایج بخش آزمایش مدل‌ها قابل‌قبول نبود که بیانگر استفاده داده‌های بیشتری در بخش آموزش مدل‌ها است. با توجه به نتایج این تحقیق، در صورت وجود دوره آماری طولانی‌مدت، می‌توان از این مدل‌ها به دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه، برای تخمین رسوب معلق خروجی از حوضه‌ها استفاده کرد و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان طراحی با دقت بالاتری برای بندهای رسوب‌گیر حوزه‌های آبخیز ارائه داد که باعث افزایش کارایی این بندها در هنگام رخداد سیلاب‌ها می‌شود.

## References

- Ahmadi, H. (2000). *Applied Geomorphology* (V.1, Water Erosion). Tehran University Publications, 688. (In Persian)
- Beiranvand, N., Sepahvand, A. & Haghizadeh, A. (2023). Suspended sediment load modeling by machine learning algorithms in low and high discharge periods. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(2), 50-66 (In Persian). <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11262.1115>
- Bonakdar, L. & Etemad Shahidi, A. (2011). Predicting wave run-up on rubble-mound structures using M5 model tree. *Ocean Engineering*, (38), 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.09.015>
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machin Learning*, 24(2), 123-140.
- Farrokhzadeh, B., Azarakhshi, M., Mahdavi, M. & Selajgh, A. (2008). Regional survey of sediment gauge curve in different climates of Iran. *Journal of Faculty of Natural Resources*, 61(1), 1-12 (In Persian).
- Girolamo, A.M.D., Pillo, R.D., Porto, A.L., Todisco, M.T. & Barca, E. (2018). Identifying a reliable method for estimating suspended sediment load in a temporary river system. *CATENA*, 165, 442-453. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.015>
- Honrabakhsh A., Niazi A., Soltani Kopaei S. & Tahmasabi P. (2018). Modeling the relationship between sedimentation rate and hydrological and environmental characteristics of the basin. *Quantitative Geomorphology Research*, 8(1), 117-197(In Persian).
- Hostache, R., Hissler, C., Matgen, P., Guignard, C. & Bates, P. (2014). Modelling suspended-sediment propagation and related heavy metal contamination in floodplains: a parameter sensitivity analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9), 3539-3551. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3539-2014>
- Ildam, A.R. & Panah, M. (2021). Optimizing the most suitable model for estimating the suspended sediment of Hamedan's Shineh Dam River. *Hydrogeomorphology*, 8(27), 37-57. <https://doi.org/10.22034/GMPJ.2020.122214>
- Javidan, S., Taghi Sattari, M., Karimzadeh, P. & Mehrabi, A. (2022). Performance Analysis of Hydrological and Data Based models in Estimation of Suspended Sediment Rate. *Environment and Water Engineering*, 8(2), 468-480. <https://doi.org/10.22034/jewe.2021.305599.1632>
- Jung, B.M., Fernandes, E.H., Möller, O.J. & García-Rodríguez, F. (2020). Estimating Suspended Sediment Concentrations from River Discharge Data for Reconstructing Gaps of Information of Long-Term Variability Studies. *Water*, 12(9), 1-15. <https://doi.org/10.3390/w12092382>
- Norouzi, A., Pajouhesh, M., Abdollahi, Kh. & Esmali Ouri, A. (2021). Estimating the Suspended Sediment Load and Evaluating the Homogeneity and Heterogeneity of Water and Sediment. *Journal of Eco-Hydrology*, 7(4), 1099-1112. <https://doi.org/10.22059/IJE.2020.304694.1345>
- Kumar, S. & Rastogi, R.A. (1987). A conceptual catchment model for estimating suspended sediment flow. *Journal of Hydrology*, 95,155-163. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90122-3](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90122-3)
- Mirzaei, M.R., Arab Khodri, M., Faiz Nia, S. & Ahmadi, H. (2005). Comparison of estimation methods of suspended sediment in rivers. *Iranian Journal of Natural Resources*, 58(2), 301-315(In Persian).
- Moradinezhad, A., Davoodmaghami, D. & Moradi, M. (2020). Investigating the effectiveness of methods for estimating the suspended sediment load of Qara Chai River. *Journal of Biology and Water Engineering*, 5(4), 328-338. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.211925.1341>
- Naseri, F., Azari, M. & Dasarani, M.T. (2020). Optimizing the coefficients of the sediment gauge equation using genetic algorithm. *Scientific-Research Quarterly of Irrigation and Water Engineering*, 9(35), 82-98.
- Nourani, V., Gokcekus, H. & Gelete, G. (2020). Estimation of suspended sediment load using artificial intelligence-based ensemble model. *Hindawi Complexity*, 19 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/6633760>
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217-222.

- <https://doi.org/10.1080/01431160412331269698>
- Pal, M. & Deswal, S. (2010). Modelling pile capacity using Gaussian process regression. *Computer. Geotechnical*, 37, 942-947. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2010.07.012>
- Prasad, A.M., Iverson, L.R. & Liaw, A. (2006). Newer classification and regression tree techniques: Bagging and random forests for ecological prediction. *Ecosystems*, 9(2), 181-199.
- Quinlan, J.R. (1992). Learning with continuous classes. in Proceedings of the 5th Australian joint Conference on Artificial Intelligence. *Hobart 16-18 November*, 343-348
- Ampomah, R., Hosseiny, H., Zhang, L., Smith, V. & Sample-Lord, K. (2020). A Regression-Based Prediction Model of Suspended Sediment Yield in the Cuyahoga River in Ohio Using Historical Satellite Images and Precipitation Data. *Water*, 12(881), 1-18. <https://doi.10.3390/w12030881>
- Rovira, A., Alcaraz, C. & Ibanez, C. (2012). Spatial and temporal dynamics of suspended load at-acrosssection: The lowermost Ebro River, *Water Research*, 46(11), 3671-3681. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.014>
- Samadianfard, S., Salarifar, M., Javidan, S. & Mikaeili, F. (2020). Estimation of Daily Reference Evapotranspiration in Humid Climates Using Data-Driven Methods of Gaussian Process Regression, Support Vector Regression and Random Forest. *Environment and Water Engineering*, 6(4), 360-373(In Persian). <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.241690.1394>
- Satari, M.T., Rezazadeh Joodi, A., Safdari, F. & Ghahremanzadeh, F. (2016). Evaluation of the performance of M5 tree model and support vector regression methods in river suspended sediment modeling. *Journal of water and soil resources protection*, 6(1), 109-123.
- Sepahvand, A., Sihag, P., Singh, B. & Zand, M. (2018). Comparative evaluation of infiltration models. *KSCE Journal*, 22, 4173-4184. <https://doi.10.1007/s12205-018-1347-1>
- Sepehvand, A., Nazari Samani, A., Mohammadian, H., Ahmadi, H. & Faiz Nia, S. (2020). Seasonal changes of dissolved sediment and determining the dissolution rate of calcareous formations. *Watershed Science and Engineering of Iran*. 14(48), 21-32 (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.20089554.1399.14.48.4.1>
- Sepehvand, A. & Azizi Najafkali, Z. (2019). Suspended sediment modeling using Gaussian process and multi-layer perceptron models. *15<sup>th</sup> National conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran*, 15, 1-6 (in Persian).
- Shahinejad, B., Shahrokhi, S.H. & Yousefi, H. (2022). Estimation of suspended sediment using M5 non-parametric models and multivariate spline adaptive regression (MARS). *Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, 46, 16-34. <https://doi.org/10.22125/IWE.2021.142020>
- Sutter, R., Verhoeven, R. & Krein, R. (2001). Simulation of sediment transport during flood events, laboratory work and field experiments. *Hydrological Sciences*, 46(4), 599-610. <https://doi.org/10.1080/02626660109492853>
- Taleb Bidokhti, N., Shahoui S., Behnia A., Behbodhi F., Sadeghi S.H.R., Malek A. & Sharifi F. (2003). Specialized Culture of Erosion and Sedimentation. *UNESCO Publications*, 999 pp (In Persian).
- Varwani, J., Faiz-nia, S., Mahdavi, M. & Arab Khodri, M. (2002). Regional analysis of suspended sediment using regression equation in Gorgan River watershed. *Journal of Natural Resources of Iran*, 55(1), 35-47 (In Persian).
- Wang, Y. & Witten, I.H. (1997). Inducing model trees for continuous classes. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> European Conference on Machine Learning*. Prague, Czech Republic: Springer.
- Yang, D., Zhang, X., Pan R., Wang, Y. & Chen, Z. (2018). A novel Gaussian process regression model for state-of-health estimation of lithium-ion battery using charging curve. *Journal of Power Sources*, 384, 387-39. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.03.015>
- Zhang, W., Wei, X., Zheng, J., Zhu, Y. & Zhang, Y. (2012). Estimating suspended sediment loads in the Pearl River Delta region using sediment rating curves.

- Geomorphology*, 185, 27–38.  
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.02.017>
- Zoratipour, A., Mahdavi, M., Khaliqi Sigaroudi, S., Seljakeh, A.F. & Shamsalmaali N. (2008). Investigating the effect of sediment classification on the improvement of hydrological methods of extracting the suspended load of rivers. *Journal of Faculty of Natural Resources*, 44, 819-809(In Persian).
- Zounemat-Kermani, M., Kişi, Ö., Adamowski, J. & Ramezani Charmahineh, A. (2016). Evaluation of data driven models for river suspended sediment concentration modeling. *Journal of Hydrology*, 535, 457-472.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.012>

## Social network analysis of rangeland stakeholders in Robat village, Khorasan Razavi Province

Amirreza Heirany<sup>1</sup>, Mahdi Kolahi<sup>2\*</sup>, Hamid Omranian Khorasani<sup>3</sup>

1. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Deputy of Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

3. M.Sc., expert at Innovative Ecosystem Company, Mashhad, Iran

\* Corresponding author: [mahdikolahi@um.ac.ir](mailto:mahdikolahi@um.ac.ir)

(Received: 25 January 2024

Revised: 17 February 2024

Accepted: 12 March 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Social network analysis plays a pivotal role in decision-making across diverse management levels within natural resource programs, particularly in the intricate landscapes of rangelands. Its significance lies in unraveling complex social interactions and relationships, providing indispensable insights for comprehensive decision-making. Robat village in Khorasan-Razavi province stands out as a crucial focal point for this study, confronting an array of human and ecological challenges. Despite its ecological and environmental importance, the village has yet to undergo a thorough examination concerning social-ecological system analysis. This research aims to bridge this gap by scrutinizing the intricate web of social relationships within Robat village, placing specific emphasis on evaluating the influential role played by local authorities in fostering cooperation and participation in the management and protection of rangelands.

**Materials and methods:** Establishing a robust foundation for understanding the socio-ecological system within Robat village involved meticulous field studies, survey methods, and participatory observation. This comprehensive approach allowed for the precise delineation of socio-ecological boundaries and the identification of stakeholders within Robat village's customary system. Data collection incorporated a meticulously designed researcher-made network analysis questionnaire. This questionnaire was purposefully crafted to solicit nuanced information on the bonds of trust and participation among rangeland users, providing a detailed and insightful understanding of the complex social fabric within the community. Applying matrix algebra theory facilitated intricate mathematical calculations within the network analysis method. The utilization of Ucinet v6.191 software enabled the execution of these calculations, with the collected data matrix serving as a fundamental tool for deriving and evaluating crucial indicators.

**Results and Discussion:** Analysis of the results uncovered a density index of 22.79% in the partnership link and 13.97% in the trust link, indicating a noteworthy yet moderate density in both connections. Further exploration revealed the degree of reciprocity in participation and trust links, standing at 51.42% and 37.5%, respectively. These percentages underscore the mutual nature inherent within these relationships, emphasizing the interconnectedness of participants. Additionally, the network size index shed light on the robustness of the network, highlighting 35 and 24 links within the Robat local stakeholders' network based on participation and trust links, respectively. Significantly, the density among central actors surpassed that among peripheral ones, elucidating the strategic placement of key and influential individuals within the network's central subgroups. This centralization contributes significantly to the heightened social cohesion observed within the community, fostering a conducive environment for effective collaboration.

**Conclusion:** This research not only addresses an existing gap in the field of social network analysis but also enriches the understanding of the establishment of a social-ecological system within Robat village. By delving into the communication patterns among rangeland users, the study unveils a multifaceted social system that encompasses the residents of the village, the local economy, infrastructure, and technology. These elements collectively act as drivers influencing the rural community's dynamics, shaping its response to challenges and fostering resilience and adaptation. Simultaneously, the rural community coexists within the broader rangelands ecosystem, where external factors such as climate change, drought, fires, and floods exert influences on vegetation, biodiversity, and water resources. Furthermore, the reciprocal relationship between the social and ecological systems is further mediated through institutions and management practices, emphasizing the intricate balance needed for adaptive governance and management. This interplay necessitates a nuanced analysis of the relationship between humans and rangelands, stressing the importance of adaptive strategies for sustainable development. In conclusion, this study offers valuable insights into the intricate social dynamics within Robat village, providing a foundation for informed decision-making and sustainable resource management. The presented findings serve as a stepping stone for future research and policy interventions, contributing to the broader understanding of social-ecological systems in rangeland environments.

**Keywords:** Participation link, Range ecosystem, Socio-ecological system, Trust link.

**Citation:** Heirany, A., Kolahi, M., & Omranian Khorasani, H. (2024). Social network analysis of rangeland stakeholders in Robat village, Khorasan Razavi Province. *Integrated Watershed Management*, 4(2), 66-80. doi: 10.22034/iwm.2024.2020189.1124

### Copyrights:

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



## تحلیل شبکه اجتماعی بهره‌برداران مرتع روستای رباط استان خراسان رضوی

امیررضا حیرانی<sup>۱</sup>، مهدی کلاهی<sup>۲\*</sup>، حمید عمرانیان خراسانی<sup>۳</sup>

۱- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۲- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، پژوهشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۳- کارشناس ارشد مدیریت آب، شرکت زیست سامان نوآور (زیسان)، مشهد، ایران

\* نویسنده مسئول: [MahdiKolahi@um.ac.ir](mailto:MahdiKolahi@um.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** تحلیل شبکه‌های اجتماعی در برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی و بخصوص مراتع کشور، یکی از ملزومات اساسی در اتخاذ هر نوع تصمیم‌گیری در سطوح مختلف مدیریتی و حکمروایی است. بدون داشتن اطلاعات از وضعیت اجتماعی روستاها و مردم محلی، طرح‌ریزی سیاستی و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، جامع و کامل نخواهد بود. روستای رباط واقع در استان خراسان رضوی، یکی از مناطقی است که دارای طیف وسیعی از فشارهای انسانی و بوم‌شناسی است و تا کنون از لحاظ تحلیل سامانه اجتماعی-بوم‌شناختی مورد ارزیابی قرار نگرفته است. به همین دلیل پژوهش حاضر با هدف تحلیل سامانه اجتماعی روستا و نقش تاثیرگذار قدرت‌های محلی در میزان همکاری و مشارکت در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** به منظور استفاده از روش تحلیل شبکه اجتماعی برای ارزیابی الگوی روابط بین بهره‌برداران محلی روستای رباط، ابتدا مرز سامانه اجتماعی-بوم‌شناختی روستا، تعیین و بر اساس مطالعات میدانی، روش پیمایشی و مشاهده مشارکتی، دامداران و سایر بهره‌برداران از سامان عرفی روستای رباط شناسایی شدند. ابزار جمع‌آوری اطلاعات شامل پرسشنامه تحلیل شبکه محقق ساخته بود. پیوندهای اعتماد و مشارکت میان بهره‌برداران مرتع در قالب پرسشنامه تحلیل شبکه اجتماعی، جمع‌آوری و تحلیل شدند. در روش تحلیل شبکه، از تئوری جبر ماتریس جهت انجام محاسبات ریاضی بهره گرفته شد. به‌منظور انجام کلیه محاسبات ریاضی از نرم‌افزار Ucinet v6.191 استفاده شد. در نهایت، با اقتباس از ماتریس داده‌های جمع‌آوری شده، شاخص‌های مورد نظر محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که میزان شاخص تراکم در پیوند مشارکت، ۲۲/۷۹ درصد و در پیوند اعتماد، ۱۳/۹۷ درصد بوده که بیان‌گر میزان تراکم ضعیف در هر دو پیوند است. میزان مشارکت و اعتماد متقابل براساس میزان دوسویگی پیوندها به ترتیب ۵۱/۴۲ و ۳۷/۵ درصد در پیوندهای مشارکت و اعتماد است. میزان شاخص اندازه شبکه نیز نشان می‌دهد که در شبکه بهره‌برداران محلی رباط، براساس پیوندهای مشارکت و اعتماد به ترتیب ۳۵ و ۲۴ پیوند محقق شده است. همچنین تراکم در بین کنشگران مرکزی بیش‌تر از پیرامونی است و افراد کلیدی و مؤثر در شبکه در زیرگروه‌های مرکزی قرار گرفته و باعث افزایش انسجام اجتماعی شبکه می‌شوند.

**نتیجه‌گیری:** پژوهش حاضر با توجه به خلأ پژوهش‌های انجام شده در حوزه تحلیل شبکه‌های اجتماعی، به مطالعه ارتباطات بهره‌برداران مرتع روستای رباط با هدف برقراری سامانه اجتماعی-بوم‌شناختی پرداخت. در این راستا یک سامانه اجتماعی وجود دارد که شامل مردم روستا، اقتصاد جامعه محلی، زیرساخت‌ها و فناوری است. به این سامانه، پیشران‌هایی وارد می‌شوند که بر روی جامعه روستایی تاثیر می‌گذارند. جامعه سعی دارد با فرآیند تاب‌آوری و سازگاری نسبت به پیشران‌ها مقاومت کند. از طرف دیگر، جامعه روستایی بر روی اکوسیستم‌های مرتعی زندگی می‌کند. زیرا روستا اجتماعی از انسان‌هاست که بر روی یک اکوسیستم طبیعی زندگی می‌کنند. در سامانه بوم‌شناختی، عناصری مانند پوشش گیاهی، تنوع زیستی و منابع آب، توسط پیشران‌های دیگری مانند تغییر اقلیم، خشکسالی، آتش‌سوزی‌ها و سیلاب‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرند. سامانه اجتماعی از طریق نهادها و سبک مدیریتی، بر روی سامانه بوم‌شناختی تاثیر می‌گذارد. سامانه بوم‌شناختی نیز از طریق کالاها و خدماتی که ارائه می‌کند -خواه مثبت یا منفی- بر روی سامانه اجتماعی تاثیر می‌گذارد. در اینجا فرآیندی میانی نیاز است صورت گیرد که به آن حکمروایی و مدیریت مشارکتی تطبیقی گویند که برآمده از تحلیل روابط انسان با مرتع است.

**واژه‌های کلیدی:** اکوسیستم مرتع، پیوند اعتماد، پیوند مشارکت، سامانه اجتماعی-بوم‌شناختی

**استناد:** حیرانی، ا. م.، کلاهی، م.؛ عرفانیان خراسانی، ح. (۱۴۰۳). تحلیل شبکه اجتماعی بهره‌برداران مرتع روستای رباط استان خراسان رضوی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۶۶-۸۰.

### 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

اگرچه کاربرد واقعی تحلیل شبکه اجتماعی، در مدیریت مراتع کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ ولی مدیریت مشارکتی منابع یک نقطه شروع برای درک نقش شبکه‌های اجتماعی است (Prell et al., 2009). در این راستا تعداد زیادی از مقالات پژوهشی، همایشی، ترویجی و کوتاه اهمیت موضوع را تبیین نموده‌اند. برای مثال Ghorbani (۲۰۱۲)، با تحلیل شبکه اجتماعی در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مدیریت مشارکتی در روستای ناریان از شهرستان طالقان نشان دادند میزان تراکم در سطح کل پیوندهای اعتماد ۳۶ درصد (تراکم پیوند کم) و مشارکت ۴۹ درصد (تراکم پیوند متوسط) است. لذا تشکیل شبکه متراکم در حد کم تا متوسط را می‌توان انتظار داشت. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۵a)، در منطقه گرگو استان کهگیلویه و بویراحمد با تحلیل پیوندهای اعتماد و مشارکت اجتماعی در شبکه بهره‌برداران در راستای مدیریت مشارکتی مراتع نشان دادند تراکم در پیوند اعتماد ۴۱/۹ و در پیوند مشارکت ۳۱ است. همچنین انسجام و سرمایه اجتماعی در بین بهره‌برداران در حد ضعیف و پیوندهای اعتماد و مشارکت در بین افراد در حد مطلوبی نهادینه نشده است. می‌توان انتظار داشت به دنبال افزایش سرمایه اجتماعی، درگیری‌های اجتماعی در بین بهره‌برداران کاهش یافته و توانمندسازی اجتماعی ارتقا خواهد یافت.

Ghorbani و همکاران (۲۰۱۵b)، در سامان عرفی گورمومنین شهرستان دامغان در منطقه کلاته رودبار با تحلیل سرمایه اجتماعی شبکه بهره‌برداران در راستای مدیریت مشارکتی انطباقی مرتع نشان دادند که میزان شاخص تراکم برای پیوندهای اعتماد ۳۲/۴۰ و برای پیوند مشارکت ۳۳/۵۰ درصد است که بیانگر ضعیف بودن میزان اعتماد، مشارکت، انسجام و سرمایه اجتماعی و میزان انسجام و هماهنگی در بین

در سال‌های اخیر، رویکرد مشارکت به‌عنوان مهم‌ترین و ضروری‌ترین رویکرد در مدیریت مسائل و مشکلات منابع طبیعی از جمله آب، اکوسیستم‌های طبیعی و مسائل محیط‌زیستی کشور معرفی شده است (Kolahi, 2019 & 2021). در این رویکرد، مفهوم مدیریت مشارکتی تطبیقی<sup>۱</sup> شکل گرفته که سبب ایجاد و تقویت روابط بین‌گرواران<sup>۲</sup> مختلف و اصلاح دیدگاه مدیریت از بالا به پایین در عرصه‌های منابع طبیعی می‌گردد (Payeste et al., 2020; Paieste et al., 2022). همچنین از مهم‌ترین مؤلفه‌های اجرایی نمودن حکمرانی منابع طبیعی و توانمندسازی بهره‌برداران مرتع، میزان مشارکت و روابط اجتماعی-بوم‌شناختی بهره‌برداران در شبکه اجتماعی است (Jannatichenar et al., 2020). مفهوم مدیریت مشارکتی در سامانه‌های اجتماعی-بوم‌شناختی می‌تواند از طریق ابزار تحلیل شبکه اجتماعی مورد بررسی قرار گیرد (Bodin & Crona, 2009; Bodin & Prell, 2011).

تحلیل شبکه‌های اجتماعی از طریق روش‌های مختلفی همچون مطالعه جریان اطلاعات، کالاها، منابع، خدمات و درنهایت هر عامل دیگر را میان کنشگران متمایز به یکدیگر مرتبط می‌سازد (Bodin & Prell, 2011). یک شبکه اجتماعی ساختاری متشکل از افراد یا سازمان‌ها است که گره نامیده می‌شود. شبکه‌های اجتماعی با یک یا چند نوع ویژگی از وابستگی مانند دوستی، خویشاوندی، مبادله مالی، روابط جنسی، ارتباطات اعتقادی، دانش یا وجهه به یکدیگر متصل می‌شوند (Ramezani & Mirzamohamadi, 2013).

1. Adaptive Co-management  
2. stakeholders

همکاری، اندازه شبکه ۲۲۷، دوسویگی ۲۳/۳۷ درصد، انتقال‌یافتگی ۵۴/۴ درصد و میانگین فاصله ژئودزیک ۱/۹۰ است. آن‌ها پیشنهاد دادند پروژه‌های توانمندسازی نهادی به‌منظور تقویت انسجام سازمانی و ممانعت از گسیختگی شبکه روابط در دستور کار مدیران و مجریان مدیریت مشارکتی قرار گیرد. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۸)، در روستای ده‌رضا از توابع شهرستان ریگان استان کرمان با تحلیل سرمایه اجتماعی درون‌گروهی در راستای مدیریت مشارکتی نشان دادند که میزان اعتماد، مشارکت و به‌نوعی سرمایه اجتماعی در قبل از اجرای پروژه در حد متوسط بوده که پس از اجرای پروژه میزان این مؤلفه‌ها افزایش یافته است.

Salimi Koochi و همکاران (۲۰۱۹)، در روستاهای پایین‌دست حوزه آبخیز سد درودزن استان فارس، با تحلیل الگوی ساختاری سرمایه اجتماعی درون‌گروهی بهره‌برداران منابع آب نشان دادند که بر اساس شاخص تراکم، میزان انسجام و سرمایه اجتماعی برای پیوند اعتماد و مشارکت در حد متوسط ارزیابی می‌شود و میزان تراکم در بین گروه‌داران محلی منابع آب در پیوند اعتماد و مشارکت در روستای کوه سبز و کره تاوی به ترتیب ۶۸/۸ و ۶۶/۲ درصد و ۶۰/۱ و ۵۵ درصد است؛ بنابراین نیاز است سرمایه اجتماعی درون‌گروهی تقویت گردد تا در مواقع بحرانی برای حل مشکلات از سرمایه اجتماعی به‌منزله مهم‌ترین منبع استفاده شود.

Das و Dutta (۲۰۲۰)، در پژوهشی در روستای کاشمیر<sup>۳</sup> با تجزیه و تحلیل گروه‌داران و درک آن‌ها در مورد تولیدات نشان دادند که مردم محلی گروه‌داران اصلی در این نوع مطالعه‌اند و باید آن‌ها را بر اساس جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و رفتاری موردبررسی قرار داد.

کنشگران مرکزی به‌مراتب بالاتر از پیرامونی‌ها است. Firouzroz و همکاران (۲۰۱۵)، در روستای تاکر در شهرستان نور، با تحلیل شبکه اجتماعی و الگوی ساختاری روابط اجتماعی بهره‌برداران نشان دادند که تراکم و دوسویگی در پیوند مشارکت به ترتیب ۳۹/۱ و ۷۹/۱ درصد و در پیوند اعتماد به ترتیب ۵۶/۴ و ۵۸/۹ است. نتایج ضمن تعیین کنشگران مرکزی و حاشیه‌ای، نشان از آن داشت که شبکه بهره‌برداران بر اساس پیوندهای اعتماد و مشارکت به ترتیب از میزان متوسط تا زیاد پایداری و از میزان متوسط تا ضعیف انسجام برخوردار بودند. در نهایت، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که به دنبال اجرای پروژه، میزان سرمایه اجتماعی درون‌گروهی شبکه افزایش یافته و در واقع می‌توان استدلال نمود که پس از اجرای پروژه، تحقق مدیریت مشارکتی در منطقه به شکل مطلوب انجام شده است. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۶)، در استان سمنان با تحلیل شبکه سیاست-گذاری و انسجام سازمانی مجریان بخش منابع طبیعی نشان دادند میزان انسجام نهادی در سطح ضعیف ۴۰ درصد، میزان پایداری شبکه نهادی بر اساس شاخص دوسویگی در سطح متوسط ۴۶/۶۷ درصد و میزان تراکم شبکه ۳۹/۹ درصد است؛ بنابراین ضرورت کاهش تمرکز در شبکه و تقویت روابط بین مجریان متعدد این بخش را آشکار می‌سازد.

Afrakhteh و همکاران (۲۰۱۷)، در شهرستان رشت استان گیلان با تحلیل الگوی ساختاری روابط نهادها در حکمرانی منابع آب زراعی روستایی، با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه اجتماعی و شاخص‌های اندازه، تراکم، مرکزیت کل شبکه، میزان دوسویگی، انتقال‌یافتگی و کوتاه‌ترین فاصله میان دو کنشگر در سطح کلان، نشان دادند مرکزیت شبکه کل بر اساس پیوندهای درونی ۳۰/۳ و مرکزیت شبکه کل بر اساس پیوندهای بیرونی ۵۷/۲ درصد است. در پیوند

اکوسیستم‌های مرتعی انجام شده است. بدین منظور با استفاده از روش تحلیل شبکه اجتماعی، الگوی روابط بین گروداران محلی روستای رباط ارزیابی شد.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش اولین گام در استفاده از روش تحلیل شبکه اجتماعی برای حکمروایی مشارکتی مراتع، تعیین مرز سامانه اجتماعی-بوم‌شناختی است (Firouzrooz *et al.*, 2015). در این پژوهش، مرز سامانه بوم‌شناختی، سامان عرفی روستای رباط واقع که در محدوده مکانی شمال شرق کشور از استان خراسان رضوی، شهرستان کلات قرار دارد. مرز اجتماعی مورد مطالعه در این تحقیق نیز بهره‌برداران مرتع در سامان عرفی مذکور است. رباط روستایی خاص از توابع شهرستان کلات استان خراسان رضوی است که در فاصله ۷۰ کیلومتری شهر کلات نادر و ۸۴ کیلومتری شهر مشهد واقع شده است. روستای رباط کلات جمعیتی معادل با ۳۶۴ نفر در ۱۲۷ خانوار دارد که شغل اکثر مردم آن زراعت و دامپروری است و به زبان‌های مختلف لکی، کردی کرمانجی و ترکی خراسانی صحبت می‌کنند. راه زمینی این روستا بصورت جاده خاکی می‌باشد. صنایع دستی منطقه رباط شامل پلاس، کارت‌بافی، چادرش‌بافی، ابریشم‌بافی و بافته‌های سنتی است. برنج، گردو، کره محلی، روغن زرد، روغن کنجد و عسل از جمله سوغات این روستا می‌باشد. در این منطقه بر اساس مطالعات میدانی، روش پیمایشی و مشاهده مشارکتی، ابتدا دامداران و بهره‌برداران از سامان عرفی روستای رباط شناسایی شدند؛ بنابراین روش‌های اصلی این پژوهش، شامل روش‌های کتابخانه‌ای (اسنادی)، پیمایشی (مصاحبه و پرسشنامه) و مشاهده است. ابزار جمع‌آوری اطلاعات، پرسشنامه تحلیل شبکه محقق ساخته بوده که در پاییز ۱۴۰۰ اعمال شد. پیوندهای

Suyo و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهش تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی دریافتند که در صورت توانمندسازی گروداران مختلف، تولیدات این منطقه (فیلیپین) تسهیل شده و افزایش می‌یابد و باید دخالت زنان و مردان در تدوین برنامه‌هایی با هدف تقویت تولید در نظر گرفته شود.

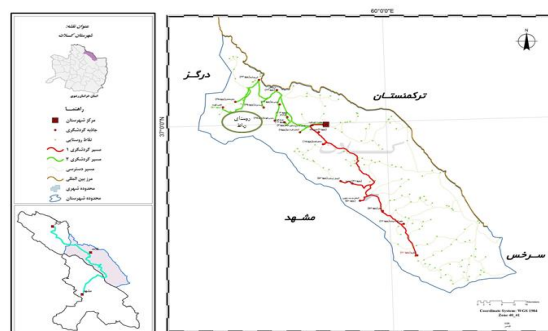
بر اساس مطالعات انجام شده می‌توان این‌چنین جمع‌بندی نمود که تحلیل شبکه‌های اجتماعی در برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی و بخصوص مراتع کشور، یکی از ملزومات اساسی در اتخاذ هر نوع تصمیم‌گیری در سطوح مختلف مدیریتی و حکمروایی است و بدون داشتن اطلاعات از وضعیت اجتماعی روستاها و مردم محلی، طرح‌ریزی سیاستی و برنامه‌ریزی منطقه‌ای آن جامع و کامل نخواهد بود. به‌طور کلی مباحث جامعه‌شناسی در توسعه امور منابع طبیعی و محیط‌زیست ضروری و یک نیاز است زیرا شهر یا روستا اجتماعی از انسان‌هاست که در یک اکوسیستم طبیعی زندگی می‌کنند. به هر حال اکوسیستم مرتع شامل کالاها و خدماتی است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی سامانه اجتماعی تأثیر می‌گذارد و از طرف دیگر، سامانه اجتماعی از طریق نهادها، مدیریت کردن و استفاده کردن، بر روی سامانه بوم‌شناختی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین برای دستیابی به حکمروایی سازگار و مدیریت مشارکتی نیاز به تحلیل روابط انسان با انسان و انسان با مرتع وجود دارد. روستای رباط واقع در استان خراسان رضوی، یکی از مناطقی است که دارای طیف وسیعی از فشارهای انسانی و بوم‌شناختی است که تاکنون از لحاظ تحلیل سامانه اجتماعی-بوم‌شناختی مورد ارزیابی قرار نگرفته است. به همین دلیل پژوهش حاضر با هدف تحلیل سامانه اجتماعی روستا و نقش تأثیرگذار قدرت‌های محلی در میزان همکاری و مشارکت در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی

ممکن را به خود اختصاص داده باشند، آنگاه می‌توان شبکه مورد بررسی را به‌عنوان یک شبکه متراکم در نظر گرفت و آن را یک شبکه منسجم نامید (Rasekhi, 2014). به‌طور کلی افزایش تراکم شبکه سبب افزایش انسجام سازمانی و تقویت پیوندها در شبکه شده و همچنین امکان هماهنگی، همکاری و هم‌افزایی فعالیت‌های مختلف دستگاه‌های اجرایی را افزایش می‌دهد (Bastani & Raesi, 2012; Ebrahimi *et al.*, 2016). این شاخص نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری سرمایه اجتماعی دارد (Firouzroz *et al.*, 2015). میزان شاخص تراکم شبکه بین صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر است (Jatel, 2013; Salimi koochi *et al.*, 2019). این شاخص معرف میزان همبستگی شبکه است (Bastani & Raesi, 2012; Ghorbani *et al.*, 2018).

**اندازه شبکه:** تعداد پیوندها در شبکه را نشان می‌دهد. هرچه تعداد پیوند در شبکه افزایش یابد میزان تراکم نیز افزایش خواهد یافت. بدیهی است تعداد بیشتر پیوندهای اجتماعی در شبکه سبب افزایش فعالیت‌های مشارکتی شده و از بروز درگیری و اختلاف جلوگیری نموده و سبب توسعه منظم و هماهنگ بهره‌برداری از منابع اشتراکی می‌شود (Firouzroz *et al.*, 2015; Afrakhteh *et al.*, 2017).

**دوسویگی پیوندها:** برای تعیین میزان پایداری شبکه، متقابل بودن پیوندهای اعتماد و مشارکت از این شاخص استفاده می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2016). هرچه میزان این شاخص در شبکه روابط بیشتر باشد، نشان‌دهنده بالا بودن میزان روابط متقابل سازنده بین افراد حاضر در شبکه است و پایداری شبکه روابط را تضمین می‌نماید (Leahy & Anderson, 2008; Lienert *et al.*, 2013; Ghorbani *et al.*, 2018; Salimi koochi *et al.*, 2019). وجود روابط و حمایت‌ها عاطفی، منافع شخصی و همچنین

اعتماد و مشارکت میان بهره‌برداران مرتع در قالب پرسشنامه تحلیل شبکه اجتماعی جمع‌آوری و تولید شد. در شکل ۱ ضمن معرفی نمایش موقعیت منطقه مورد مطالعه، تصاویر حضور در منطقه و تهیه پرسشنامه‌ها نمایش داده شده است. در روش تحلیل شبکه از تئوری جبر ماتریس جهت انجام محاسبات ریاضی بهره گرفته شد. به‌منظور انجام کلیه محاسبات ریاضی از نرم‌افزار Ucinet v6,191 استفاده شد. با اقتباس از ماتریس داده‌های جمع‌آوری‌شده، شاخص‌های موردنظر محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت (Firouzroz *et al.*, 2015; Salimi Koochi *et al.*, 2019).



شکل ۱- نقشه و تصاویری از منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Map and Pictures of the study area

شاخص‌های تحلیل شبکه اجتماعی مرتع

**تراکم شبکه:** تراکم شاخصی برای سنجش ارتباط مستقیم کنشگران در یک شبکه اجتماعی است. اگر تعداد پیوندهای موجود نسبت بالایی از کل پیوندهای

**مرکز پیرامون:** این شاخص برای تحلیل شبکه در سطح میانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به‌طور کلی موضوع مورد بررسی در این سطح، تحلیل زیرگروه‌های موجود در شبکه است. شاخص مرکز پیرامون نشان می‌دهد که کدام گره‌ها (کنشگران) در مرکز و کدام گره‌ها در پیرامون شبکه واقع شده‌اند. توسط این شاخص همه اعضا به دو دسته مرکز و پیرامون تقسیم می‌شوند. دسته مرکزی با هم ارتباط زیادی دارند و در نتیجه تراکم شبکه آن‌ها کم است. کنشگران مرکزی بیشتر می‌توانند تأثیرات یا اثربخشی‌شان را هماهنگ کنند ولی کنشگران پیرامونی کمتر فرصت این کار را دارند. در نتیجه ما را در درک بهتر قدرت‌های اجتماعی در شبکه یاری نموده و می‌توان از افراد کلیدی و مرکزی در مدیریت مشارکتی مرتع استفاده نمود ( Bodin & Crona, 2009; Bastani & Raeisi, 2012).

**انتقال یافتگی پیوندها در شبکه:** این شاخص میزان تعادل و توازن شبکه را نشان می‌دهد. هرچه روابط سه‌گانه در بین بهره‌برداران بیشتر باشد شبکه متعادل‌تر و متوازن‌تر بوده و پایداری و دوام روابط در بین بهره‌برداران مرتع بیشتر است ( Ebrahimi et al., 2018; Ghorbani et al., 2014). اگر کنشگر A یک پیوند با کنشگر B و B یک پیوند با کنشگر C داشته باشد، باعث انتقال یافتگی فرصت و شانس می‌شود که A برای پیوند با C دارد (Bruggeman, 2013). در واقع این شاخص از به اشتراک‌گذاری پیوندها بین سه فرد که یکی از آن‌ها به‌عنوان پل ارتباطی بین دو فرد دیگر است، حاصل می‌شود (Hanneman & Riddle, 2005; Ghorbani et al., 2015a; Salimi koochi et al., 2019).

**کوتاه‌ترین فاصله میان دو کنشگر (میانگین فاصله زمینی/مستقیم):** این شاخص بیانگر میزان کوتاه‌ترین مسیر در بین دو جفت کنشگر بر اساس

دریافت خدمات و منابع مختلف منجر به ایجاد روابط دوسویه در بین کنشگران خواهد شد و میزان سرمایه اجتماعی و به دنبال آن پایداری شبکه را افزایش خواهد داد (Hahn et al., 2006; Plickert et al., 2007; Salari, 2015; Afrakhte et al., 2017; Salimi koochi et al., 2019).

**تمرکز شبکه:** این شاخص بیانگر درصدی از شبکه است که در بین گروه محدودی محصور شده است و شاخصی مهم در سطح شبکه است که میزان تمرکز و یا تراکم در یک گراف را بر اساس پیوندهای یک کنشگر نشان می‌دهد (Ghorbani et al., 2016; Scott, 2000). همچنین آشکارکننده توزیع قدرت در شبکه است (Bordons et al., 2015) و رابطه بین مرکزی‌ترین گره با سایر گره‌ها را بررسی می‌کند (Jatel, 2013). چنانچه میزان درجه تمرکز در شبکه - ای صفر باشد یعنی تمام کنشگران به تعداد یکسانی پیوند در شبکه با یکدیگر برقرار کرده‌اند و چنانچه میزان آن یک باشد نشان دهنده این است که تمام پیوندها در اختیار یک کنشگر است. هرچه میزان درجه تمرکز در شبکه‌ای بالا باشد، میزان انسجام اجتماعی در آن شبکه کاهش خواهد یافت (Afrakhteh et al., 2017). این تمرکز در سطح کل بر اساس پیوندهای درونی و بیرونی محاسبه می‌گردند. به‌طور مثال در مورد شبکه اعتماد یا مشارکت می‌توان بیان نمود میزان بالای تمرکز کل شبکه بر اساس پیوندهای درونی نشان‌دهنده این است که فقط تعداد محدودی از کنشگران مرکزی در شبکه میزان اعتماد یا مشارکت زیادی را از سایر افراد دریافت می‌کنند و میزان بالای تمرکز شبکه بر اساس پیوندهای بیرونی، نتیجه پراکنش بالای اعتماد یا مشارکت در شبکه توسط تعداد محدودی از کنشگران مرکزی صورت می‌گیرد (Bodin & Crona, 2009; Bodin & Prell, 2011; Firouzroz et al., 2015).

### نتایج

در سامان عرفی روستای رباط ۱۷ بهره‌بردار شناسایی شد. از طریق پرسشنامه ارتباط ۱۷ بهره‌بردار به کمک ۱۱ مؤلفه، همکاری داشتن، رضایت از همکاری، مشورت دادن، مشورت گرفتن، اختلاف داشتن، پول قرض دادن، معاشرت خانوادگی، شراکت داشتن، اعتماد داشتن و افشای راز دل برای فردی (سر دل را به کسی گفتن) مورد ارزیابی قرار گرفت که به صورت نمونه در شکل ۱ تا ۳ به ترتیب میزان همکاری، رضایت و مشورت دادن نمایش داده شده است.

پیوند تبادل اطلاعات است. هر چه میزان این شاخص بالاتر باشد سرعت گردش اطلاعات در بین کنشگران و همچنین میزان اتحاد و یکپارچگی و همبستگی اجتماعی و در نتیجه سرمایه اجتماعی در بین کنشگران افزایش می‌یابد (Rowe & Frewer, 2005; Scholz, 2011; Salimi koochi et al., 2019). بنابراین زمان کمتری برای اعتمادسازی در شبکه موردنیاز است و هماهنگ ساختن افراد در شبکه برای اجرای حکمروایی مشارکتی با زمان کمتری روبه‌رو خواهد بود (Ghorbani et al., 2015c).

جدول ۱- اندازه شاخص‌ها در شبکه بهره‌برداران روستای رباط

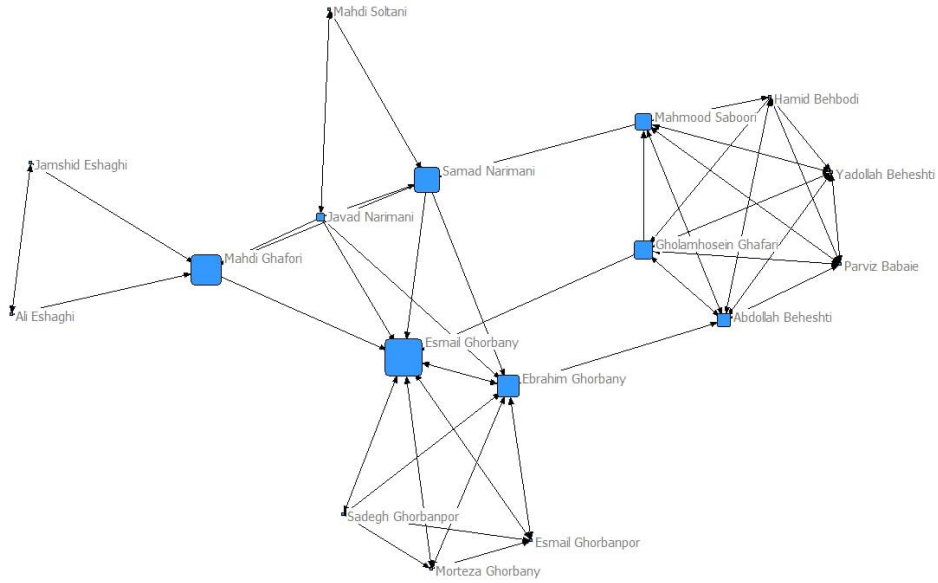
Table 1- Indicators Size in Stakeholder Network of the Robat Village

| اندازه شبکه | دوسویگی پیوند % | تراکم % | کل پیوندهای مورد انتظار | تعداد افراد | نوع پیوند | مرز اکولوژیک |
|-------------|-----------------|---------|-------------------------|-------------|-----------|--------------|
| 35          | 51.42           | 22.79   | 71                      | 17          | مشارکت    | روستای رباط  |
| 24          | 37.5            | 13.97   | 49                      | 17          | اعتماد    |              |

جدول ۲- کنشگران مرکزی و پیرامونی بر اساس پیوندهای مشارکت و اعتماد بین شخصی

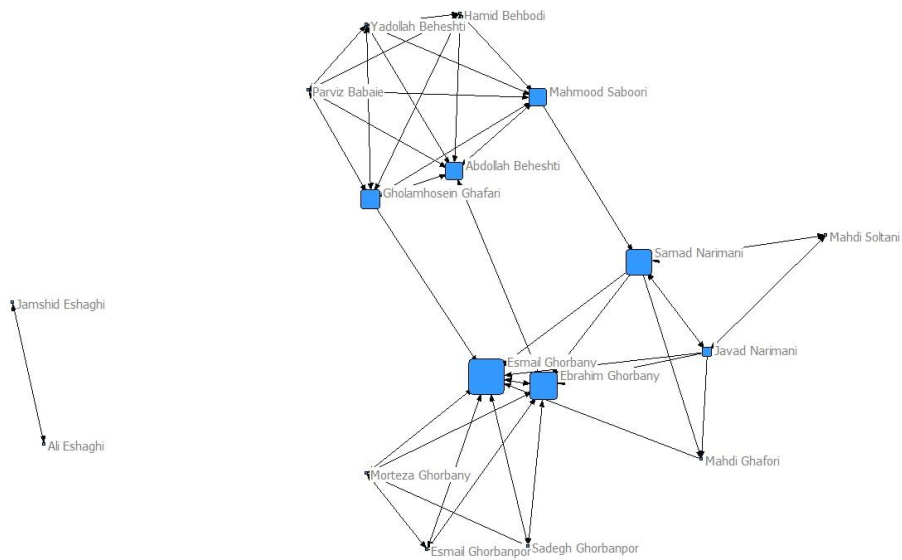
Table 2- Identification of Central and Peripheral Stakeholder Actors in Relation to Participation and Trust Links

| بر اساس پیوند اعتماد |               | بر اساس پیوند مشارکت |               |
|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| کنشگران پیرامونی     | کنشگران مرکزی | کنشگران پیرامونی     | کنشگران مرکزی |
| Al_Es                | Gh_Gh         | Al_Es                | Es_Gh         |
| Ja_Es                | Es_Gh         | Ja_Es                | Sa_Na         |
| Ma_Gh                | Es_Gho        | Ma_Gh                | Ma_Sa         |
| Sa_Na                | Ya_Be         | Ma_So                | Gh_Gh         |
| Ma_So                |               | Mo_Gh                | Ab_Be         |
| Ja_Na                |               | Es_Gho               | Eb_Gh         |
| Sa_Gh                |               | Sa_Gh                |               |
| Eb_Gh                |               | Pa_Ba                |               |
| Mo_Gh                |               | Ya_Be                |               |
| Pa_Ba                |               | Ha_Be                |               |
| Ha_Be                |               | Ja_Na                |               |
| Ma_Sa                |               |                      |               |
| Ab_Be                |               |                      |               |



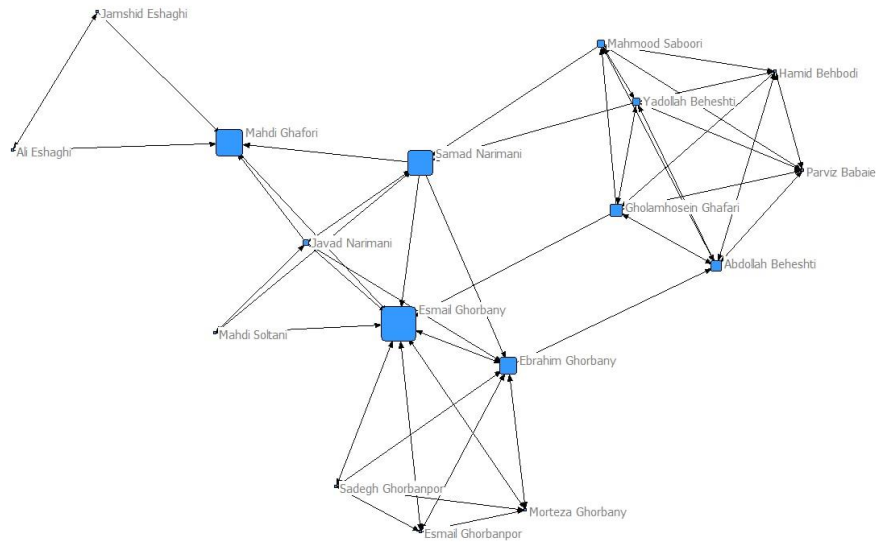
شکل ۲- میزان همکاری داشتن میان مرتع‌داران

Figure 2- Inter-Stakeholder Collaboration in the Network



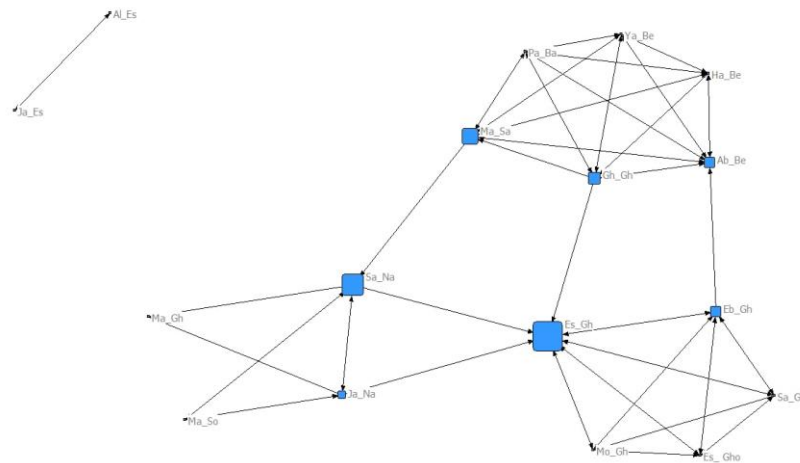
شکل ۳- میزان رضایت میان مرتع‌داران

Figure 3- Stakeholder Satisfaction Levels in the Network



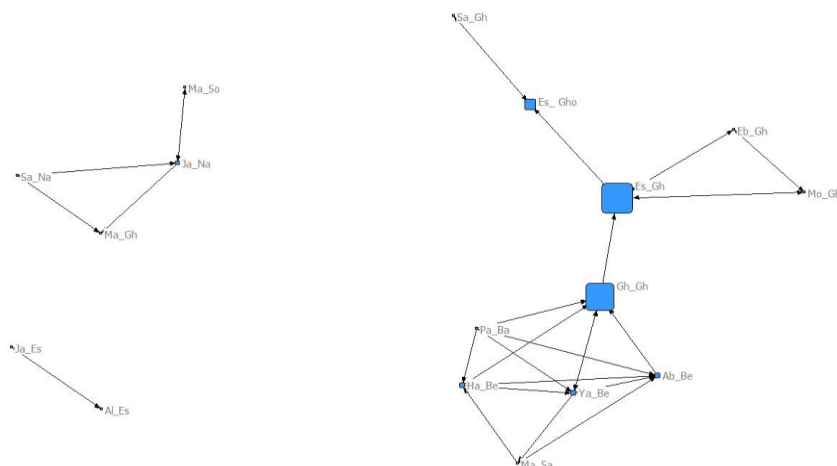
شکل ۴ - میزان مشورت دادن میان مرتعداران

Figure 4- Consultation Dynamics Among Stakeholders



شکل ۵ - شبکه مؤلفه‌های مشارکت میان بهره‌برداران روستای رباط

Figure 5- Network of Participation Components among Stakeholders in Robot Village



شکل ۶ - شبکه مؤلفه‌های اعتماد میان بهره‌برداران روستای رباط

Figure 6- Network of Trust Components among Stakeholders in Robot Village

پیرامونی است و افراد کلیدی و مؤثر در شبکه در زیرگروه‌های مرکزی قرار می‌گیرند و باعث افزایش انسجام اجتماعی شبکه می‌شوند. کنشگران در زیرگروه پیرامونی بهره‌بردارانی هستند که به‌نوعی با برخی افراد زیرگروه مرکزی متصل هستند و با سایر کنشگران در ارتباط نیستند و تراکم و انسجام ضعیفی در بین افراد این زیرگروه مشاهده می‌شود.

### بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل نتایج پژوهش نشان داد، با توجه شاخص تراکم ضعیف در منطقه، اجرای فرآیندهای مشارکتی با مشکلات و موانع زیادی همراه است و پایین بودن میزان این شاخص بیانگر عدم پایبندی افراد به سنت‌ها و عرف‌های محلی در راستای دستیابی به بهره‌برداری صحیح از منابع است و با این سطح انسجام در شبکه نمی‌توان انتظار داشت مدیریت مشارکتی موفق را در مراتع این سامان عرفی اجرا نمود. جهت رفع این موانع باید انسجام در شبکه اعتماد و مشارکت افزایش یابد تا بستری مناسب برای ایجاد فرآیندهای مشارکتی فراهم آید؛ زیرا با توجه به ارتباط مستقیم شاخص تراکم پیوند در پیوند مشارکت و اعتماد با انسجام سازمانی و سرمایه اجتماعی، می‌توان نتیجه گرفت که وجود تراکم و انسجام بالا، باعث ارتقا اعتماد و در نتیجه افزایش سرمایه اجتماعی در منطقه است. نتایج سایر پژوهشگران (Rasekhi, 2014; Ebrahimi et al., 2016; Ghorbani et al., 2014) نیز به این موارد اشاره دارد.

شاخص دوسویگی پیوندها نشان‌دهنده روابط متقابل سازنده بین افراد حاضر در شبکه و شاخصی جهت تعیین میزان پایداری شبکه موردبررسی است که میزان آن برای پیوند مشارکت در سطح متوسط و پیوند اعتماد نسبتاً ضعیف ارزیابی شد. نتایج این شاخص بیانگر عدم نهادینه شدن پیوند اعتماد در بین

به‌منظور ارزیابی میزان مشارکت و اعتماد بهره‌برداران، معیارهای مشارکت و اعتماد به شرح زیر دسته‌بندی شده‌اند:

۱. مؤلفه‌های مشارکت: همکاری داشتن، رضایت از همکاری، مشورت دادن، مشورت گرفتن، معاشرت خانوادگی، اختلاف داشتن، شراکت داشتن.
۲. مؤلفه‌های اعتماد: پول قرض دادن، اعتماد داشتن و در دودل کردن.

میزان شاخص تراکم در پیوند مشارکت ۲۲/۷۹ درصد و در پیوند اعتماد ۱۳/۹۷ درصد بوده که بیانگر میزان تراکم ضعیف در هر دو پیوند است (جدول ۱). میزان مشارکت و اعتماد متقابل بر اساس میزان دوسویگی پیوندها به ترتیب ۵۱/۴۲ و ۳۷/۵ درصد در پیوندهای مشارکت و اعتماد است. شاخص دوسویگی پیوندها نمایانگر هنجارها و عرف‌های محلی در میان گروه‌داران است و در نتیجه پایداری شبکه را نشان می‌دهد. میزان شاخص اندازه شبکه نیز نشان می‌دهد، در شبکه گروه‌داران محلی رباط، بر اساس پیوندهای مشارکت و اعتماد به ترتیب ۳۵ و ۲۴ پیوند محقق شده است.

طبق نتایج جدول ۲ و شکل ۴ و ۵ کنشگران هم بر اساس پیوند مشارکت و اعتماد و هم بر اساس شاخص مرکز-پیرامون در شبکه گروه‌داران محلی رباط مشخص شدند. نتایج نشان داد، در پیوند مشارکت ۳۵/۲۹ درصد کنشگران در مرکز و در پیوند اعتماد بین شخصی، ۲۳/۵۲ درصد کنشگران در مرکز و ۷۶/۴۸ درصد در پیرامون شبکه قرار دارند.

شاخص مرکز پیرامون از جمله شاخص‌های تحلیل شبکه‌ای است که می‌توان بر اساس آن افراد کلیدی، پیرامونی و حاشیه‌ای در امر مدیریت مشارکتی را شناسایی نمود که اسامی آن‌ها در (جدول ۲)، آمده است. تراکم در بین کنشگران مرکزی بیشتر از

برگزاری کارگاه‌های مدیریت مشارکتی و فعالیت‌های آموزشی و ترویجی شرایط موردنیاز در جهت ایجاد اعتماد و مشارکت هر چه بیشتر گرووداران فراهم گردد. همچنین برقرار نمودن شبکه‌های توانمند اجتماعی و پشتیبانی از آن‌ها به‌عنوان بازوی اصلی مدیریت مشارکتی و حکمروایی خوب در منطقه الزامی است.

درزمینه سیاست‌گذاری و سازمان‌دهی مدیریت جامع حوزه آبخیز در کشور، راهبرد تحلیل شبکه اجتماعی به‌منزله رویکردی نوین مورد استفاده گیرد و همچنین امکان تهیه و تدوین سامانه اطلاعاتی مدیریت مشارکتی حوزه آبخیز به واسطه سنجش معیارها و شاخص‌های اجتماعی اقتصادی در ارتباط با مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز در قبل، حین اجرا و بعد از اجرای طرح‌ها و پروژه‌ها امکان‌پذیر گردد.

لازم به ذکر است که در این مقاله از واژه گرووداران به‌جای ذی‌نفعان استفاده شد. طبق تعریف، گرووداران مرتع به کلیه افراد، گروه‌ها یا نهادهایی اطلاق می‌شود که زندگی، معیشت، سهم، کار یا دغدغه و علاقه آنان به مرتع گره‌خورده و ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، تحت تأثیر سیاست‌های مرتع قرار گرفته یا توانایی تأثیرگذاری مثبت یا منفی بر نتیجه را داشته باشند (Kolahi, 2021). گرووداران یک واژه چتری است که دربرگیرنده بهره‌برداران (ذی‌نفعان)، دست‌اندرکاران، نهادهای مدنی و غیره است. در اثر شناسایی و تحلیل دقیق و درنهایت مشارکت گرووداران مرتع در سیاست‌ها و پروژه‌های منابع طبیعی، مزایای اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی بسیاری حاصل خواهد شد؛ بنابراین اولین گام برای حکمروایی خوب و همکاری مؤثر گرووداران مرتع، شناسایی افراد و نهادها و تعیین انگیزه آن‌ها است؛ زیرا ممکن است هرکدام از آن‌ها انگیزه‌ها، نیازها، خواسته‌ها و منافع مختلفی داشته باشند (Kolahi et al., 2024). درنتیجه،

افراد و میزان کم اعتماد متقابل در میان افراد است. اگر میزان این شاخص در منطقه تقویت شود و با توجه به سطح متوسط در پیوند مشارکت، می‌توان گفت وجود میزان بالای مشارکت و اعتماد متقابل در بین افراد و بالا بودن میزان نهادینه شدن این پیوند و همچنین عرف‌ها و سنت‌های محلی در میان گرووداران این روستا، امید است باعث پایداری شبکه روابط گردد. وجود اعتماد و مشارکت متقابل در میان افراد باعث می‌شود شبکه‌ای پایدار ایجاد شود که در آن روح اعتماد، همکاری و تعاون در بین آن‌ها نهادینه گردد که این امر منجر به افزایش سرمایه اجتماعی شده و برنامه‌ریزی مشارکتی در توسعه پایدار روستا با هزینه و زمان کمتری همراه است و سبب تقویت فرایندهای مشارکتی در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای خواهد شد. نتایج پژوهش‌های (Rahimi et al., 2014; Salari, 2016; Ghorbani et al., 2016) نیز مؤید این مفاهیم است. شاخص اندازه شبکه در منطقه مورد مطالعه، بر اساس پیوند مشارکت و پیوند اعتماد مشخص شد. هرچه تعداد پیوند در شبکه افزایش یابد میزان تراکم نیز افزایش خواهد یافت. بدیهی است تعداد بیشتر پیوندهای اجتماعی در شبکه سبب افزایش فعالیت‌های مشارکتی شده و از بروز درگیری و اختلاف جلوگیری نموده و سبب توسعه منظم و هماهنگ بهره‌برداری از منابع اشتراکی می‌شود. در شاخص مرکز پیرامون می‌توان زیرگروه‌های مرکزی و پیرامونی در شبکه‌های نهادی را مشخص کرد. این شاخص باید قبل از هرگونه فعالیت فرابخشی موردسنجش قرار گیرد تا نهادهای مرکزی و پیرامونی مشخص شوند. نتایج نشان می‌دهد که در کنشگران پیرامونی میزان انسجام ضعیفی وجود دارد که ضرورت دارد ارتباط این کنشگران با کنشگران مرکزی، تقویت شوند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود که در زمینه تحقق مدیریت مشارکتی موفق، از طریق

می‌کند؛ زیرا روستا اجتماعی از انسان‌هاست که بر روی یک اکوسیستم طبیعی زندگی می‌کنند. در سامانه بوم‌شناختی، عناصری همچون پوشش گیاهی، تنوع زیستی و منابع آب، توسط پیشران‌های دیگری مانند تغییر اقلیم، خشک‌سالی، آتش‌سوزی و سیلاب، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. سامانه اجتماعی از طریق نهادها و سبک‌های مدیریتی، روی سامانه بوم‌شناختی تأثیر می‌گذارد. سامانه بوم‌شناختی نیز از طریق کالاها و خدماتی که ارائه می‌کند - خواه دارای اثرات مثبت یا منفی - بر روی سامانه اجتماعی تأثیر می‌گذارد. در اینجا فرآیندی میانی نیاز است صورت گیرد که به آن حکمروایی و مدیریت مشارکتی تطبیقی گویند که برخاسته از تحلیل روابط انسان با مرتع است.

ضروری است تا در این زمینه، پژوهش‌ها و اقدامات بیشتری انجام شو  
پژوهش حاضر با توجه به خلأ پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه تحلیل شبکه‌های اجتماعی، به مطالعه ارتباطات بهره‌برداران مرتع روستای رباط با هدف برقراری سامانه اجتماعی-بوم‌شناختی پرداخت. در همین این راستا یک سامانه اجتماعی وجود دارد که شامل مردم روستا، اقتصاد جامعه محلی، زیرساخت‌ها و فناوری است. به این سامانه پیشران‌هایی وارد می‌شوند که بر روی جامعه روستایی تأثیر می‌گذارند. جامعه سعی دارد با فرآیند تاب‌آوری و سازگاری نسبت به پیشران‌ها مقاومت کند. از طرفی جامعه روستایی بر روی اکوسیستم‌های مرتعی زندگی

## References

- Afrakhteh, H., A. Tahmasebi, F. Azizpour. & F. Askari. (2017). On the Analysis of Structural Pattern of Institutional Relations in the Governance of Agricultural Water Resources (Case Study: Rasht County). *Journal of Planning studies of human settlements*, 12(5), 2-39. <http://jshsp.iaurasht.ac.ir> (In Persian)
- Bastani, S. & M. Raeisi. (2012). Social Network Analysis as a Method: Using Whole Network Approach for Studying FOSS Communities. *Journal of Iranian Social Studies*, 14(2). [http://www.jssisa.ir/article\\_21463.html?lang=fa](http://www.jssisa.ir/article_21463.html?lang=fa) (In Persian)
- Bodin, O. & Crona, B. (2009). The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference. *Journal of Global Environmental Change*. 19(3), 366-374. <http://doi:10.1016/j.gloenvcha.2009.05>
- Bodin, O. & Prell, C. (2011). *Social networks and natural resource management*: Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Bordons, M., Aparicio, J., González-Albo, B. & Díaz-Faes, A. (2015). The relationship between the research performance of scientists and their position in co-authorship networks in three fields. *Journal of Informetrics*. 9(1), 135-144. <http://doi:10.1016/j.joi.2014.12.001>
- Bruggeman, J. (2013). *Social networks: An introduction*. Routledge press.
- Burt, R.S. (2004). Structural holes and good ideas. *American Journal of Sociology*, 110 (2): 349-399. <http://doi:10.1086/421787>
- Dutta, A. & Das, S. (2020). Adoption of grid-connected solar rooftop systems in the state of Jammu and Kashmir: A stakeholder analysis. *Energy Policy*, 140, 111382. <http://doi:10.1016/j.enpol.2020.111382>
- Ebrahimi, F., Ghorbani, M., Salajegheh, A. & Mohseni Saravi, M. (2014). Social Network Analysis of Local Stakeholders in Action Plan for Water Resources Co-Management (Case study: Jajrood River in Latian watershed, Darbandsar village). *Iran- Watershed management science Engineering*. 8(25), 47-56. <http://jwmsei.ir/article-1-399-en.html> (In Persian)
- Ghorbani, M., Ebrahimi, F., Salajegheh, A., Mohsenisaravi, M. (2015) Social Network Analysis, Social Power and the Key Stakeholders in Action Plan for Water

- Resources Co-Management (Case study: Jajrood River in Latian watershed, Darbandsar village). *Jwmseir*. 9(28), 21-32. <http://jwmsei.ir/article-1-502-fa.html>
- Firouzrooz, M., Erfanzadeh, R., Ghorbani, M. & Rasekhi, S. (2015). Social network analysis and structural scheme of social relation among rangeland stakeholders (Case study: Takor village, Noor). *Journal of Rangeland*, 9(3), 244-254. <http://rangelandsrm.ir/article-1-258-fa.html>
- Ghorbani, M. (2012). The role of social networks in operation mechanisms of Rangeland (Case Study: Taleghan area), Ph.D. Dissertation, Department of Natural Resources, Tehran University, 430 pages. (In Persian)
- Ghorbani, M. (2014a). Stakeholder and social powers analysis and social network in natural resources Comanagement. *Iranian Journal of Range and Watershed management*, 1(67). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2014.50835> (In Persian)
- Ghorbani, M., Salari, F., Saeidigarghani, H., Sanaei, A. (2015a). Analysis of Trust and Participatory Management by Users Network in Toward Rangelands Co-management (Case study: Gorgoo region-Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province). *Rangeland*, 9(2), 194-182. <http://rangelandsrm.ir/article-1-197-fa.html>
- Ghorbani, M., Rahimi, K., Jafari, M & Tavili, A. (2015b). Analyzing the social capital in rangeland stakeholders network for adaptive co-management (ACM). *Journal of Rangeland*, 9 (1), 91-105. (In Persian)
- Ghorbani, M. (2015c). *An action plan for monitoring and assessment of sociopolitical networks in empowering local communities and comprehensive territory management*. Tehran, Iran: Research Institution of Local Communities Empowerment and Cooperation Management of Natural Resources. (In Persian)
- Ghorbani, M., Jafarian, V., Yazdani, M. R. & Abdolshahnejad, M. (2016). Analysis of Policy Network and Organizational Cohesion of the Stakeholders of Natural Resources of Semnan Province. *Journal of Range and Watershed Management*. 69(1), 155-166. <http://doi.10.22059/jrwm.2016.61740>
- Ghorbani, M., Avazpour, L. & Siramirad, M. (2018). An Analysis and Assessment of Intergroup Social Capital toward Rural Sustainable Development (Case Study: Kerman Province, Rigan County). *Quarterly of Social Studies and Research in Iran*, 7(1), 1-23. <http://doi.10.22059/jjsr.2018.135399.288>
- Hahn, T., P. Olsson, C. Folke, & k. Johnsson. (2006). Trust – building, Knowledge Generation and Organization Innovations: The Role of a Bridging Organization for Adaptive Co-Management of a Wetland Landscape around Kristianstad, Sweden. *Human Ecology*, 34(4), 573-592. <http://doi.10.1007/s10745-006-9035-z>
- Hanneman, R.A. & Riddle, M. (2005). *Introduction to social network methods*. University of California Riverside, California.
- Jannatichenar, M. A., Kolahi, M. & Mesdaghi, M. (2020). Social Conflicts and Rangeland Management: A Case Study at Rangelands of Kalatnader County, Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 9(3), 77-97. (In Persian)
- Jatel, N. (2013). *Using social network analysis to make invisible human actor water governance networks visible – the case of the Okanagan vally*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of arts in the college of graduate studies (Interdisciplinary Studies) the University of British Columbia
- Kolahi, M., Davary, K. & Omranian Khorasani, H. (2024). Integrated Approach to Water Resource Management in Mashhad Plain, Iran: Actor Analysis, Cognitive Mapping, and Roadmap Development. *Scientific Reports*. 14, 162. <http://doi.org/10.1038/s41598-023-50697-x>
- Kolahi, M. (2019). Environmental Knowledge: From Wisdom to Capability. Agricultural

- Education Research Publications, Tehran, 159 pp. (In Persian)
- Kolahi, M. (2021). Natural Resources Stakeholders. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8 (1), 19-30
- Leahy, E. & Anderson, H. (2008). Trust Factors in Community–water Resources Management Agency Relationships. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 87(2), 100–107. <http://doi.10.1016/j.landurbplan.2008>
- Lienert, J., Schnetzer, F. & Ingold, K. (2013). Stakeholder analysis combined with social network analysis provides fine-grained insights into water infrastructure planning processes. *Journal of Environmental Management*, 12(5), 134-148. <http://doi.10.1016/j.jenvman.2013.03.0>
- Plickert, G., Côté, R.R. & Wellman, B. (2007). It's not who you know, it's how you know them: Who exchanges what with whom? *Social Networks*. 29(3), 405-429. <http://doi.10.1016/j.socnet.2007.01.00>
- Rasekhi, s. (2014). Social network analysis in policy and planning participatory rangeland management (Case study: Fars Province), thesis, Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research. (In Persian)
- Rahimi Balkanlou, Kh., Ghorbani, M., Jafari, M. & Tavili, A. (2014). Analysis of the local stakeholders' network, social capital and cohesion in landscape co-management (Case study: Changi rangeland- Kalateh Roudbar- Damghan), *Journal of Watershed Management Research (Pajouhesh- va Sazandegi)*. (In Persian)
- Ramezani, A. & Mirzamohamadi, A. (2013). Social network analysis: along with Ucinet software training, 20 p. (In Persian)
- Rowe, G. & Frewer, J. (2005). A Typology of Public Engagement Mechanisms, *Science Technology Human Values*, 30(2), 251-290. <http://doi.10.1177/0162243904271724>
- Salari, F., 2015. *modelling and Analysis of water resources governance network in catchment (case study: Razin catchment in Kermanshah province)*. thesis, Department of Natural Resources. Tehran University. 218 pages. (In Persian)
- Salimi Koochi, J., Selajgeh, A., Malikian, A & Rezaei, A. (2019). The analysis of structural pattern of inside group social capital of water resources beneficiaries (case study: Doroodzan downstream Watershed, Fars). *Scientific-Research Journal of Marte' and Abkhizdari*, 73(3), 499-511. (In Persian)
- Suyo, J. G. B., Le Masson, V., Shaxson, L., Luhan, M. R. J., & Hurtado, A. Q. (2020). A social network analysis of the Philippine seaweed farming industry: Unravelling the web. *Marine Policy*. 118, 104007. <http://doi.10.1016/j.marpol.2020.104007>
- Scott, J. (2000). *Social network analysis: A handbook*. CA: Sage, Newbury Park
- Scholz, R.W. (2011). *Environmental Literacy in Science and Society: From Knowledge to Decisions*. Cambridge: Cambridge University Press. p 631.
- Payeste, M., Kolahi, M. & Omranian Khorasani, H. (2020). Criteria and Indicators; Requirement for Applying and Evaluating Good Governance in Natural Resources. *Journal of Water and Sustainable Development*, 7(1), 95-102. (In Persian)
- Paieste, M., Kolahi, M. & Omranian Khorasani, H. (2022). Promoting Natural Resource Management with an Emphasis on Good Governance. *Journal of Rangeland*, 16(1), 124-139. (In Persian)
- Prell, C., Hubacek, K. & Reed, M. (2009). Stakeholder analysis and social network analysis in natural resource management. *Journal of Society and Natural Resources*. 22(6), 501–518. <http://doi.10.1080/08941920802199202>

## Spatial modeling and mapping of flood potential using machine learning algorithms (Case study: Bushehr province)

Fatemeh Rezaei<sup>1</sup>, Hamid Reza Pourghasemi<sup>2\*</sup>, Seyed Rashid Fallah Shamsi<sup>1</sup>, Rasoul Khosravi<sup>1</sup>, Narges Kariminejad<sup>2</sup>

1- Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, University Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Department of Soil Science, College of Agriculture, University Shiraz University, Shiraz, Iran

\* Corresponding author: [hamidreza.pourghasemi@yahoo.com](mailto:hamidreza.pourghasemi@yahoo.com)

(Received: 03 November 2023

Revised: 03 March 2024

Accepted: 28 March 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Given the scarcity of data on river basins nationwide, numerous researchers turn to spatial analysis within a Geographic Information System (GIS) setting for hydrological studies and flood investigations. On that basis, identifying the most important factors influencing flood occurrence and severity, as well as building their sensitivity maps can be one of the most important solutions for flood reduction. Therefore, the objective of this study is to prepare a flood risk map in Bushehr province using machine learning techniques and to identify important factors affecting flood hazards.

**Materials and methods:** In this study conducted in Bushehr province, we aimed to compare the effectiveness of three machine learning models: Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), and Generalized Additive Model (GAM). Initially, layers of information influencing flood occurrence in the study area were identified. Each prepared map served as input for the models. Various layers such as slope, slope direction, elevation, distance to river, drainage density, lithology, land use, topographic wetness index, and vegetation cover index were prepared using ArcGIS and SAGA-GIS software, crucial for analyzing flood patterns. Using data from 925 flood locations, points were divided into two sets: 70% (645 points) for modeling and 30% (280 points) for evaluation. The effectiveness of the models was validated using Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis.

**Results and Discussion:** The results indicated that among the ten main factors, height, rainfall, and lithology were the most important factors affecting flood occurrence, while slope and distance from the river had the least impact. Evaluating model accuracy using ROC revealed very good accuracy for the SVM model (0.86), generalized additive model (0.85), and RF model (0.88). Flood sensitivity analysis showed RF and GAM methods identified the highest area in the low susceptibility class, while the SVM method identified the highest area in the medium susceptibility class. Results indicated that 37.32% of the study area had low sensitivity, 26.01% had medium sensitivity, 12.42% had high sensitivity, and 24.42% were very sensitive to flood hazards. Also, two other models have had very good accuracy for flood modeling in the studied area. The ROC related to the RF model, SVM, and generalized collective model showed an accuracy of 88.5 for the RF model, 86% accuracy for the SVM model, and 85% accuracy for the generalized collective model.

**Conclusion:** This study concludes that integrating machine learning models, namely SVM, RF, and GAM, with GIS analysis holds tremendous potential for advancing our understanding of flood patterns in Bushehr province. Leveraging these tools allows for a deeper comprehension of flood dynamics, aiding informed decision-making and effective mitigation strategies. This approach marks a significant leap forward in proactively addressing flood challenges and fostering resilient flood management practices in Bushehr province.

**Keywords:** Flood, Modeling, Machine Learning, Bushehr Province

**Citation:** Rezaei, F., Pourghasemi, H. R., Fallah Shamsi, S. R., Khosravi, R., & Kariminejad, N. (2024). Spatial modeling and mapping of flood potential using machine learning algorithms (Case study: Bushehr province). *Integrated Watershed Management*, 4(2), 81-96. doi: 10.22034/iwm.2024.2014966.1113

### 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 مکانی و تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین

### (مطالعه موردی: استان بوشهر)

فاطمه رضایی<sup>۱</sup>، حمیدرضا پورقاسمی<sup>۲\*</sup>، سید رشید فلاح شمسی<sup>۱</sup>، رسول خسروی شرف آبادی<sup>۱</sup>، نرگس

کریمی نژاد<sup>۱</sup>

۱- بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

\*نویسنده مسئول: [hamidreza.pourghasemi@yahoo.com](mailto:hamidreza.pourghasemi@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲

#### چکیده مبسوط

**مقدمه:** سیلاب یکی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی محسوب می‌شود؛ بنابراین تهیه نقشه حساسیت سیل‌گیری گامی مهم در راستای مدیریت سیلاب است. به دلیل کمبود اطلاعات در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور، بسیاری از محققان برای مطالعه‌های هیدرولوژیکی و سیل‌گیری از تجزیه و تحلیل‌های مکانی در محیط GIS استفاده می‌کنند. بر این اساس، شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایجاد و تشدید وقوع سیل و همچنین تهیه نقشه حساسیت‌پذیری آن می‌تواند یکی از مهم‌ترین راهکارها در راستای کاهش خطر سیل باشد؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر، تهیه نقشه حساسیت‌پذیری سیل در استان بوشهر با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و شناسایی عوامل مهم و مؤثر بر وقوع آن است.

**مواد و روش‌ها:** پژوهش حاضر به منظور مقایسه کارایی سه مدل یادگیری ماشین، شامل جنگل تصادفی (RF)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM) در تهیه نقشه سیل‌گیری استان بوشهر انجام شده است. در این تحقیق ابتدا لایه‌های اطلاعاتی تأثیرگذار بر رخداد سیلاب در منطقه مورد مطالعه تعیین و هر یک از نقشه‌های تهیه‌شده به عنوان ورودی به مدل‌های ذکرشده در این تحقیق معرفی شدند تا بر اساس آن‌ها نقشه حساسیت به سیلاب (سیل‌گیری) در محدوده مطالعاتی تهیه شود. بدین منظور، لایه‌های اطلاعاتی درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال‌شده و بارندگی در محیط سامانه اطلاعات مکانی در نرم‌افزارهای ArcGIS و SAGA-GIS تهیه شد. سپس بر اساس اطلاعات ۹۲۵ موقعیت سیلاب‌های رخ داده و شناسایی‌شده در محیط گوگل ارث انجین، از ۷۰ درصد تعداد کل نقاط (۶۴۵ نقطه) به منظور مدل‌سازی و ۳۰ درصد باقیمانده (۲۸۰ نقطه) برای ارزیابی استفاده شد. به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی مدل‌ها نیز از منحنی تشخیص عملکرد نسبی استفاده شد.

**نتایج و بحث:** نتایج روش جنگل تصادفی نتایج نشان داد از بین ۱۰ عامل اصلی، عوامل ارتفاع، بارندگی و سنگ‌شناسی به عنوان مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه بوده و در مقابل عوامل جهت شیب و فاصله از رودخانه دارای کم‌ترین تأثیر بر وقوع سیل می‌باشند. به عبارت دیگر، نتایج نشان داد که عوامل ارتفاع، بارندگی و سنگ‌شناسی بیش‌ترین تأثیر را بر سیل‌گیری منطقه مورد مطالعه دارند. نتایج ارزیابی دقت مدل‌ها با استفاده شاخص سطح زیر منحنی نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان (۰/۸۶)، مدل جمعی تعمیم‌یافته (۰/۸۵) و مدل جنگل تصادفی (۰/۸۸) دارای دقت خیلی خوب هستند. همچنین بیشترین مساحت حساسیت سیل در مدل جنگل تصادفی و مدل جمعی تعمیم‌یافته مربوط به طبقه کم است. اگرچه در مدل ماشین بردار پشتیبان بیشترین کلاس حساسیت مربوط به طبقه متوسط است؛ بنابراین بر اساس شاخص‌های مذکور هر سه مدل توانایی خوبی در شناسایی مناطق سیل‌گیر دارند. به بیان دیگر، نتایج به دست آمده بر اساس مدل ماشین بردار پشتیبان نشان می‌دهد که ۳۷/۳۲ درصد از مساحت استان دارای حساسیت کم، ۲۶/۰۱ درصد از مساحت استان دارای حساسیت متوسط، ۱۲/۴۲ درصد از استان دارای حساسیت زیاد و ۲۴/۴۲ درصد از مساحت استان دارای حساسیت خیلی زیاد نسبت به سیل‌خیزی هستند. همچنین دو مدل دیگر نیز از دقت خیلی خوبی برای مدل‌سازی سیل در منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده‌اند. نمودار ROC مربوط به مربوط به مدل جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و مدل جمعی تعمیم‌یافته نشان‌دهنده دقت ۸۸/۵ برای مدل جنگل تصادفی، دقت ۸۶ درصد برای مدل ماشین بردار پشتیبان و دقت ۸۵ درصد برای مدل جمعی است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر می‌تواند کمک قابل توجهی به دولت، برنامه‌ریزان و مهندسين در پیش‌گیری و کاهش وقوع سیلاب نماید. همچنین می‌توان از روش‌های دیگر و ترکیب آن‌ها برای مدل‌سازی و مقایسه نتیجه آن با پژوهش حاضر استفاده کرد. بنا بر نتایج این تحقیق می‌توان ادعا داشت با استفاده از ابزارهای قدرتمند هوش مصنوعی، محققان و ذینفعان درک عمیق‌تری از پویایی پیچیده در وقوع سیل به دست می‌آورند و در نتیجه تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر و استراتژی‌های مؤثرتری را در کاهش و کنترل سیل به کار می‌برند.

**واژه‌های کلیدی:** سیل‌گیری، مدل‌سازی، یادگیری ماشین، استان بوشهر

**استناد:** رضایی، ف.، پورقاسمی، ح. ر.، فلاح شمسی، س. ر.، خسروی، ر.؛ کریمی نژاد، ن. (۱۴۰۳). مدل‌سازی مکانی و تهیه نقشه پتانسیل

سیل‌گیری با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مطالعه موردی: استان بوشهر). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۸۱-۹۶.

#### 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 دسترسی است.

## مقدمه

همه‌روزه در سراسر جهان وقایع زیادی رخ می‌دهد که تعدادی از آن تبدیل به بلایای طبیعی می‌شود. بلایای طبیعی در واقع یک فاجعه یا مصیبت ناشی از وقوع یک پدیده طبیعی پرخطر مانند سیلاب، خشک‌سالی، زلزله، زمین‌لغزش و فرونشست زمین است که باعث وارد آمدن خسارت مالی و جانی فراوان به جوامع انسانی می‌گردد (Pham et al., 2020). سیل یکی از مهم‌ترین انواع بلایای طبیعی است که می‌تواند هر ساله باعث آسیب‌های گسترده اقتصادی-اجتماعی شده و پیامدهای زیست‌محیطی مهمی را برجای گذارد. گسترش حوادث و بلایای طبیعی می‌تواند با تغییرات آب و هوایی که در دهه‌های گذشته رخ داده است، همراه باشد. به عبارت دیگر، سیل از عوامل اصلی خسارت به منابع طبیعی، بخش‌های کشاورزی و زیرساخت‌های شهری است؛ بنابراین سیل یکی از زیان‌بارترین بلایای طبیعی دنیا محسوب می‌شود، زیرا ۳۱ درصد از کل خسارت اقتصادی ناشی از بلایای طبیعی جهانی را به خود اختصاص می‌دهد (Ali et al., 2020).

اگرچه سیل به لحاظ دینامیکی پویاترین فاجعه طبیعی است که به‌طور کامل نمی‌توان از آن جلوگیری کرد، اما می‌توان به شیوه‌هایی از جمله پیش‌بینی مکان‌های احتمالی سیل، از درجه عواقب، اثرات مضر و میزان تلفات آن کاست (Ali et al., 2020). بررسی‌ها حاکی از آن است که در سال ۲۰۱۰ حدود ۱۷۸ میلیون نفر تحت تأثیر سیل قرار گرفتند و بیش از ۴۰ میلیارد دلار خسارت در طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ ثبت شده است (Leskens et al., 2014). هم‌چنین سیل باعث مرگ‌ومیر سالانه حدود ۲۰ هزار نفر شده و ۷۵ میلیون نفر تحت تأثیر سیل خانه‌های خود را از دست داده و بی‌خانمان شده‌اند (Khosravi et al., 2018). وقوع سیلاب از جمله حوادث طبیعی معمول در ایران است که حیات بشری را به مخاطره انداخته و در مقیاس جهانی فاجعه‌بارترین و مؤثرترین عامل در مرگ‌ومیر و

خسارات مالی است (Darabi et al., 2019). کشور ایران نیز با توجه به وسعت آن، تنوع آب و هوایی و تغییرات زمانی و مکانی بارندگی در اغلب استان‌ها، هر ساله با سیلاب‌های عظیمی مواجه است. در طول سالیان گذشته خسارات اقتصادی حاصل از فاجعه سیلاب به بیش از ۱۷۰۵ هزار دلار می‌رسد (Norouzi & Taslimi, 2012)؛ بنابراین شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل به‌منظور فراهم کردن مدیریت لازم برای کاهش خسارات سیل ضروری است (Avand et al., 2020). تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل به‌عنوان مرحله اصلی برای جلوگیری و پیش‌بینی مدیریت سیلاب شناخته شده است (Khosravi et al., 2018). علیرغم تلاش متخصصان، تصمیم‌گیران، ذی‌نفعان و ادارات دولتی در دهه‌های اخیر برای کاهش اثرات سیلاب، تعداد حوادث و تلفات اقتصادی و انسانی مرتبط با آن، در سراسر جهان در حال افزایش است. این پدیده نه‌تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در تمام جهان شایع‌ترین مخاطره طبیعی است. دسترسی سریع به ماهواره بر پایه داده‌های سنجنش‌از‌دور و بهبود روش‌های تجاری، استفاده از سامانه اطلاعات مکانی را در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل افزایش داده است؛ بنابراین GIS یک ابزار مفید برای بررسی وقایع چندبعدی مانند سیلاب است. دامنه وسیعی از تکنیک‌های مدل‌سازی در ارزیابی بلایای طبیعی پیشنهاد و مورد استفاده واقع شده است. محققان مختلفی به ارزیابی نقشه‌های سیلاب با استفاده از GIS اقدام و اطلاعات مفیدی را در ارتباط با بعضی از روش‌های موجود ارائه کرده‌اند (Catani et al., 2013; Kia et al., 2012). روش‌های مختلف تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل مانند مدل‌های آماری و احتمالاتی در تحقیق‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Khosravi et al., 2018). در سال‌های اخیر تکنیک‌های پیشرفته‌تری نیز در ارزیابی نقشه‌های حساسیت سیلاب از قبیل روش‌های یادگیری ماشین و داده‌کاوی به کار گرفته شده است.

شمالی و ۵۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). آب‌وهوای استان گرم و خشک و در نواحی ساحلی گرم و مرطوب است. بیشینه دمای مطلق آن ۵۲/۵ درجه سلسیوس و حداقل آن ۱- درجه و دمای متوسط سالانه آن ۲۵/۷ درجه و میانگین بارش ۲۲۰ میلی‌متر است (Ardakanian, 1983).

### تهیه نقشه پراکنش سیلاب

به‌منظور پیش‌بینی وقوع سیلاب در یک منطقه می‌توان از آنالیزهای مربوط به سیلاب‌های گذشته و رخ داده استفاده کرد. نقشه پراکنش سیلاب به‌عنوان یک عامل مؤثر در پیش‌بینی وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که نقشه پراکنش مکانی سیلاب با استفاده از سامانه آنلاین گوگل ارث انجین (<https://earthengine.google.com>) تهیه شده است. در مجموع از ۹۲۵ موقعیت سیل در استان بوشهر ۶۴۵ محل وقوع سیل (۷۰ درصد) جهت تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری و ۲۸۰ نقطه (۳۰ درصد) برای اعتبارسنجی مدل‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفت.

### معیارهای تأثیرگذار بر سیلاب

تعیین عوامل مؤثر بر وقوع سیل یکی از موارد ضروری در تهیه نقشه حساسیت سیل‌گیری است (Kia et al., 2012). در این پژوهش ۱۰ عامل مؤثر بر وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه شامل درجه شیب، ارتفاع، جهت شیب، کاربری اراضی، شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال‌شده، میانگین بارش سالانه، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از شبکه آبراهه‌ها، تراکم زهکشی و واحدهای سنگ‌شناسی مورد استفاده قرار گرفت (Khosravi et al., 2018). به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزارهای ArcGIS و SAGA-GIS استفاده شد. در ابتدا نقشه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه و نقشه طبقات ارتفاعی، درجه شیب و جهت شیب در محیط

به‌طور کلی، به دلیل اینکه حوضه‌ها به‌طور ذاتی پیچیده هستند، مدل‌سازی آن‌ها با روش‌های هیدرولوژی ساده و خطی مطابقت ندارد (Pierdicca et al., 2010)، به همین دلیل تکنیک‌های مختلفی برای بررسی سیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میان تکنیک‌های مختلف، استفاده از سنجش‌از‌دور (Francke et al., 2017; Naghibi et al., 2009)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Chapi et al., 2017)، نسبت فراوانی (Pham et al., 2020)، رگرسیون لجستیک (Al-Juaidi et al., 2018)، منطق فازی (Nguyen et al., 2020)، جنگل تصادفی (Avand et al., 2020)، شبکه عصبی مصنوعی (Leskens et al., 2014) و ماشین بردار پشتیبان (Chau et al., 2005) مورد توجه محققان است؛ بنابراین سیل به لحاظ دینامیکی، پویاترین فاجعه طبیعی است که به‌طور کامل نمی‌توان از آن جلوگیری کرد، اما می‌توان با تهیه نقشه‌های حساسیت‌پذیری، خطر و ریسک، از درجه عواقب، اثرات مضر و میزان تلفات آن کم کرد. بر این اساس، شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایجاد و تشدید وقوع سیل و هم‌چنین تهیه نقشه حساسیت‌پذیری آن می‌تواند یکی از مهم‌ترین راهکارها در راستای کاهش خطر سیل باشد؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر، تهیه نقشه حساسیت‌پذیری سیل در استان بوشهر با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و شناسایی عوامل مهم و مؤثر بر وقوع آن است.

### مواد و روش‌ها

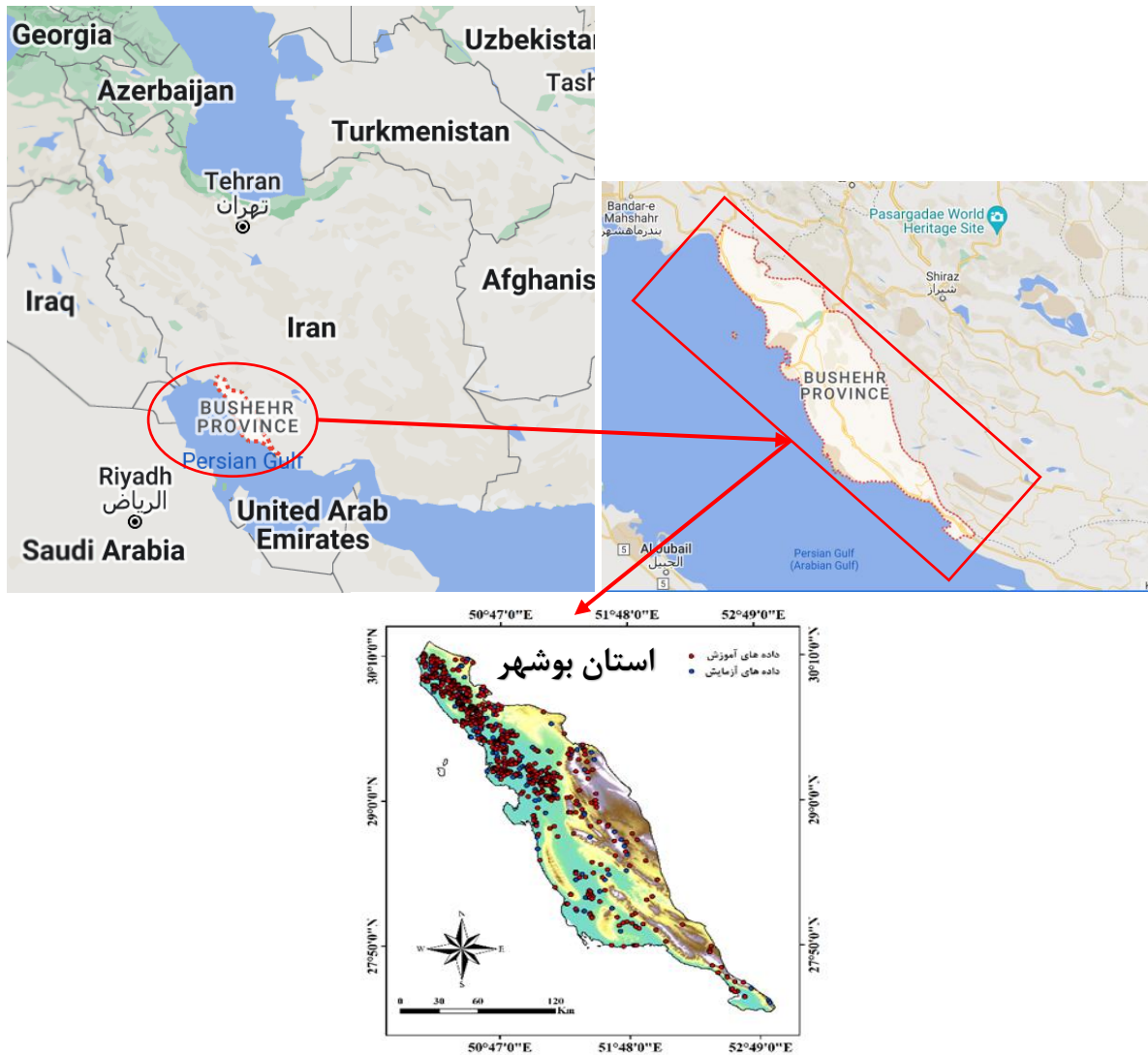
#### منطقه مورد مطالعه

استان بوشهر از استان‌های جنوبی ایران و هفدهمین استان بزرگ کشور به لحاظ مساحت است که در حاشیه خلیج فارس قرار دارد. استان بوشهر از شمال به قسمتی از استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد، از شرق به استان فارس، از جنوب و غرب به خلیج فارس و از جنوب شرق به قسمتی از استان هرمزگان محدود است. مختصات جغرافیایی استان بین ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه عرض

رضایی و همکاران

کشاورزی و بیشه‌زار و درختچه زار است که دارای تراکم کم پوشش گیاهی و حداکثر سیلاب می‌باشند. شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده یکی دیگر از عوامل اصلی به شمار می‌رود که از روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد که مقدار آن بین +۱ و -۱ متغیر است.

نرم‌افزار ArcGIS از آن استخراج گردید. نوع کاربری اراضی نقش مهمی بر فرآیند سیلاب دارد و بر روی برخی فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند نفوذپذیری، تبخیر و تعرق و تولید رواناب تأثیر دارد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۰ و در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. بیش‌تر مساحت استان پوشیده از دو کاربری زمین‌های



شکل ۱- نقشه پراکنش سیلاب در منطقه مورد مطالعه

Figure 1 Flood Distribution map in the study area

نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. عامل تراکم زهکشی از جمله عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی است که از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) و در محیط نرم‌افزار SAGA GIS تهیه شد. فاصله از رودخانه یکی دیگر از

به‌منظور تهیه نقشه میانگین بارندگی از داده‌های بارندگی ۱۴ ایستگاه باران‌سنج در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۷۸ و برای میان‌یابی بارندگی از روش وزن فاصله معکوس (IDW) (Jaafari *et al.*, 2014) در محیط

سنگ‌شناسی مربوط به سازندهای کواترنری است که دارای بیش‌ترین میزان سیل‌گیری هم بوده‌اند. برای تهیه نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی، از نرم‌افزار SAGA GIS و رابطه ۱ استفاده شد که در آن As مساحت منطقه و tanB زاویه شیب منطقه به درجه است (جدول ۱).

$$TWI = \ln(As/\tan)$$

عوامل اصلی است که تأثیر قابل‌توجهی بر گستره و اندازه سیلاب دارد (Rahmati *et al.*, 2016) که نقشه آن بر اساس لایه رقومی شبکه آبراهه حوضه در محیط نرم‌افزار SAGA GIS تهیه شد. نقشه سنگ‌شناسی از روی نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور) در ArcGIS تهیه و به ۱۳ کلاس طبقه‌بندی شد که بیش‌ترین مساحت واحد

جدول ۱- ویژگی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of geological formations in the study area

| نام سازند     | علامت سازند | لیتولوژی سازند یا واحد رسوبی                              |
|---------------|-------------|---|
| رازک          | Rz          | آهک با میان لایه شیل                                      |
| کواترنری      | Q           | آبرفت جوان، مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان‌تر |
| میشان         | Mn          | شیل و آهک   |
| خامی          | Kh          | آهک با میان لایه‌های شیل و دولومیت                        |
| کژدمی         | Kz          | شیل خالص با نفوذپذیری خیلی کم                             |
| گورپی         | Gu          | مارنی همراه با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و شیل           |
| گچساران       | Gs          | اغلب آهک و شیل  |
| بنگستان       | Bn          | شیل و آهک   |
| بختیاری       | Bk          | آهک‌های مارنی با رنگ آبی تیره                             |
| آسماری و جهرم | As-J        | دولومیت و آهک   |
| آسماری        | As          | آهک و انیدریت   |
| آغاچاری       | Aj          | ماسه‌سنگی   |
| امیران        | A           | کنگلمرایی سیاه رنگ  |

بسیاری از داده‌ها، طبقه‌بندی را با صحت بالایی انجام می‌دهد (Lee *et al.*, 2012). در هر مرحله به‌منظور یافتن بهترین نوع تقسیم، همه متغیرها و مقادیر ممکن آن‌ها مورد جستجو قرار می‌گیرند تا فضای متغیرها به دو قسمت مناسب تقسیم شود.

جنگل تصادفی شامل سه پارامتر تعریف‌شده توسط کاربر است که عبارت از (۱) تعداد متغیرهای مورد استفاده در ساخت هر درخت که قدرت هر درخت مستقل را بیان می‌کند، (۲) تعداد درختان در جنگل تصادفی و (۳) حداقل تعداد گره‌های انتهایی است. هر چه تعداد درختان جنگل تصادفی بیش‌تر باشد، پیش‌بینی از دقت بالاتری برخوردار است. پس از تعیین وزن هر عامل و کلاس‌های مربوط به آن و انتقال وزن‌ها به نقشه‌های مذکور، نقشه نهایی پتانسیل سیلاب در

### مدل‌سازی مکانی سیل‌گیری جنگل تصادفی (RF)

این مدل روشی غیرپارامتری است که مجموعه‌ای از درختان تصمیم، روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی را تشکیل می‌دهند. جنگل تصادفی یک نوع مدرن از درخت پایه هستند که شامل انبوهی از درخت‌های کلاس‌بندی و رگرسیونی می‌باشند. از مهم‌ترین ویژگی جنگل تصادفی می‌توان به عملکرد بالای آن در اندازه‌گیری اهمیت متغیرها اشاره کرد که مشخص می‌کند هر متغیر چه نقشی در پیش‌بینی پاسخ دارد. این الگوریتم در واقع الحاقی از درخت رگرسیون و طبقه‌بندی است که مبتنی بر دسته‌ای از درختان تصمیم است. این مدل بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمام درختان تصمیم استوار است و برای

محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و بر اساس الگوریتم شکستگی‌های طبیعی (Natural Breaks) به ۴ طبقه حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (Mohammadi & Pourqasmi, 2017) (شکل ۴).

### ماشین بردار پشتیبان (SVM)

این مدل یکی از روش‌های یادگیری نظارت‌شده است که برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌گردد. این روش از جمله تکنیک‌های نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر طبقه‌بندی از جمله شبکه‌های عصبی پرسپترون نشان داده است. مبنای کاری دسته‌بندی کننده SVM، دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌کند خطی را انتخاب نماید که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد (Kariminejad et al., 2020). ماشین بردار پشتیبان در اصل یک الگوریتم طبقه‌بندی دوکلاسی است که کلاس‌ها توسط یک مرز خطی از هم جدا می‌شوند. در این روش نزدیک‌ترین نمونه‌ها به مرز تصمیم‌گیری را بردارهای پشتیبان می‌نامند که این بردارها معادله مرز تصمیم‌گیری را مشخص می‌کنند. روش مذکور به دلیل استفاده از اصل کمینه‌سازی ریسک ساختاری که از طریق بیشینه کردن فاصله بین دو ابر صفحه گذرا از بردارهای پشتیبان هر دو کلاس، اعمال می‌شود برخلاف حالت کمینه‌سازی ریسک تجربی که سعی در کمینه کردن خطای آموزش را دارد، عملکرد بهتری بر روی داده‌هایی که مدل با آن‌ها ساخته نشده است از خود نشان می‌دهد. به منظور تهیه نقشه خطرات چندگانه زیست‌محیطی با استفاده از الگوریتم SVM، اساساً چهار نوع تابع کرنل از قبیل خطی، چندجمله‌ای، سینوسی و تابع پایه شعاعی وجود دارد که در تحقیق حاضر از تابع پایه شعاعی به دلیل عملکرد بهتر آن در مقایسه با دیگر توابع استفاده شد (Gharakhanlou & Perez, 2023).

### مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM)

یکی از مدل‌های آماری ناپارامتری، مدل جمعی تعمیم‌یافته است که از توسعه و بسط مدل‌های خطی تعمیم‌یافته ایجاد شده است. برخلاف مدل خطی تعمیم‌یافته که در آن رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته در قالب معادلات رگرسیونی و ضرایب ارائه می‌شود، در مدل GAM، داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین می‌کنند (Yousefi et al., 2022)؛ بنابراین در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته، ساختار جمعی به بیان نتایج قابل تفسیر به صورت جداگانه برای هر متغیر توضیحی وارد شده به مدل، کمک می‌نماید. مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته به صورت رابطه (۲) ارائه می‌شود (Yousefi et al., 2022) که در آن  $f_j$  ها توابعی نامعلوم، هموار و  $X_j$  متغیر پیش‌گو است.

$$g(\mu) = \alpha + \sum_{j=1}^p f_j(x_j) \quad (2)$$

ارزیابی مدل‌های یادگیری ماشین و انتخاب بهترین مدل منطقه‌ای به منظور ارزیابی مدل‌های تهیه‌شده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده شده است. سطح زیر منحنی ROC بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی در تخمین صحیح وقایع رخداد (وقوع سیلاب) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع سیلاب) آن است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیش‌ترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر AUC بین ۱-۰/۵ متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخداد وقوع سیلاب را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین بزند، مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیر منحنی برابر ۱ داشته باشد، نشان‌دهنده بهترین کارایی مدل در تهیه نقشه وقوع رخداد سیل است (Razavi Termeh & Malek, 2016).

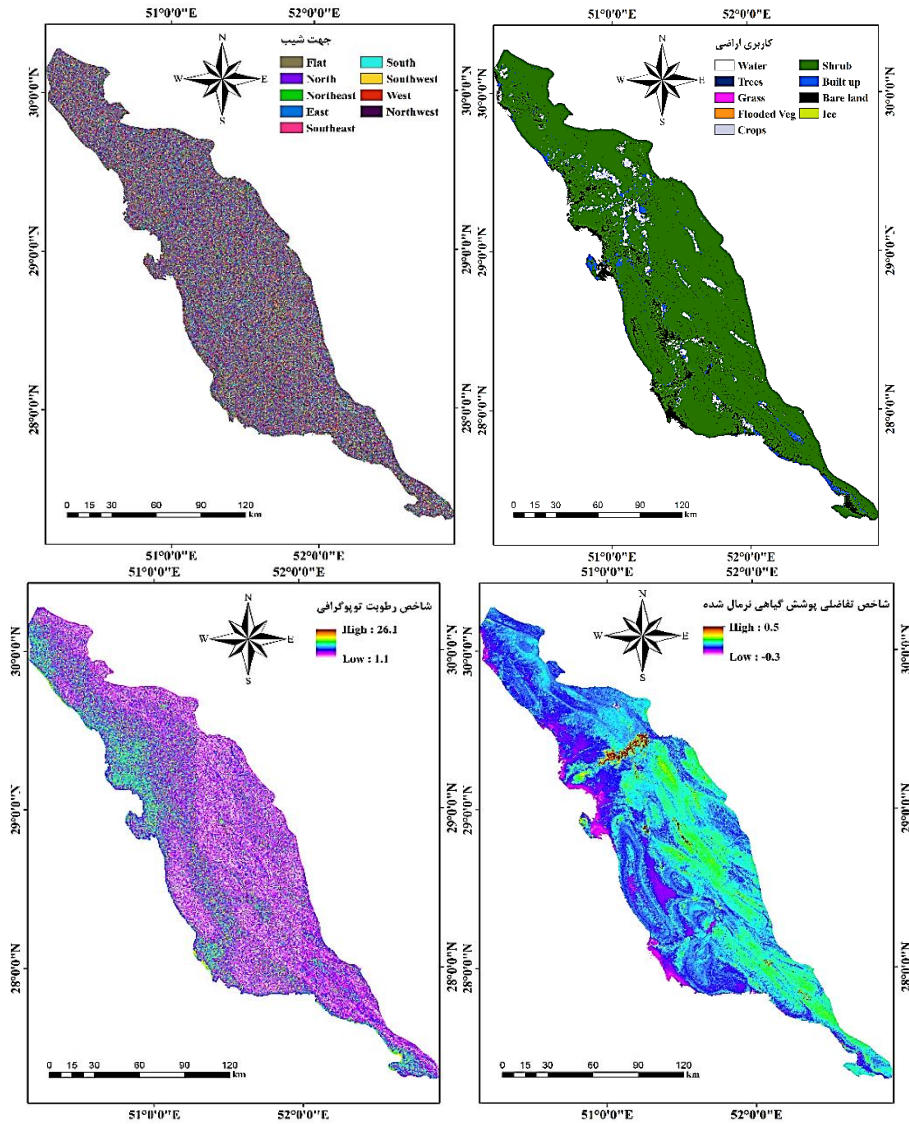
### نتایج

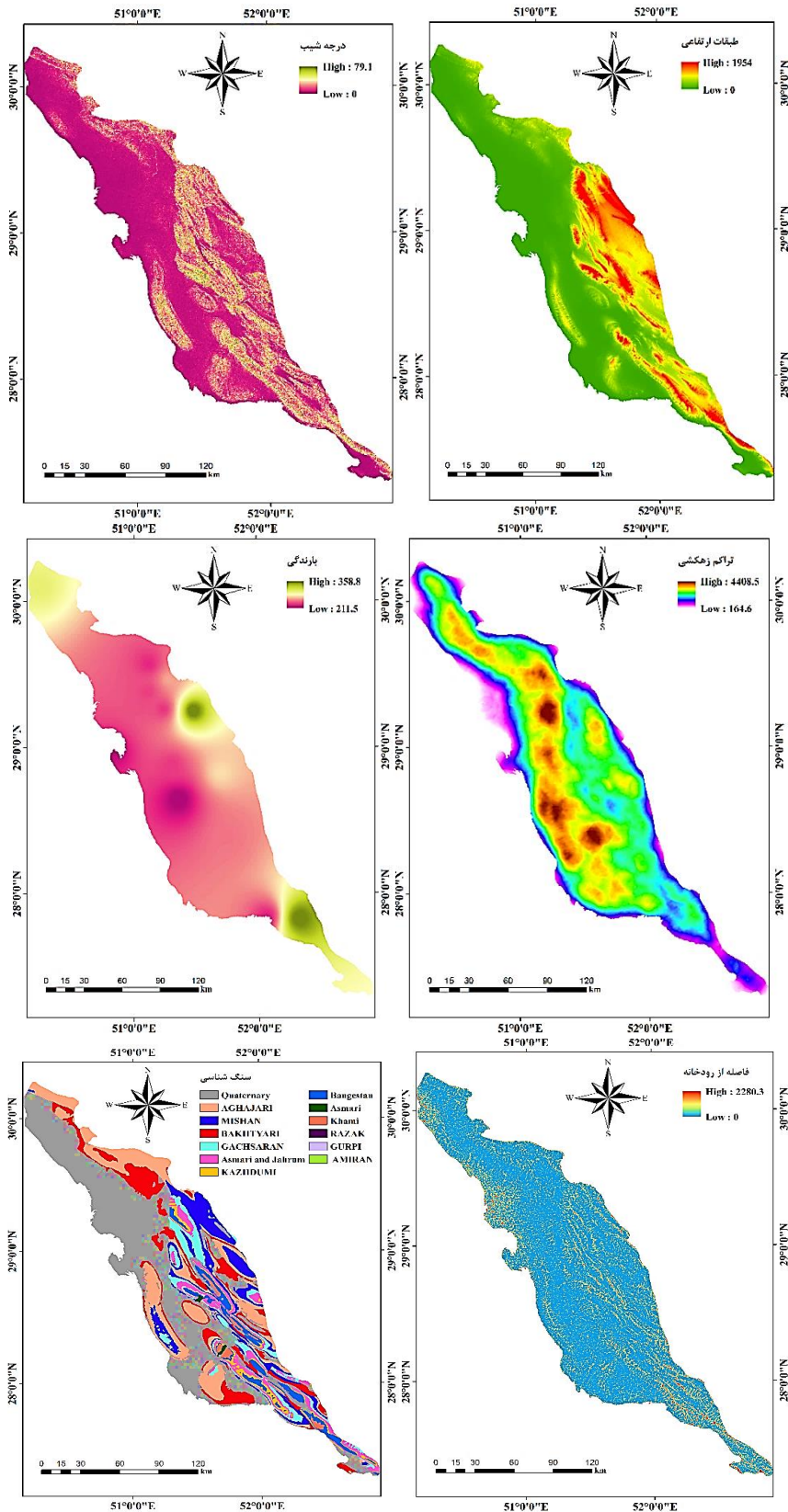
تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از

#### الگوریتم‌های هوش مصنوعی

در این تحقیق ابتدا لایه‌های اطلاعاتی تأثیرگذار بر رخ داد سیلاب در منطقه مورد مطالعه تعیین شد (شکل ۲)

و هر یک از نقشه‌های تهیه‌شده به‌عنوان ورودی به مدل‌های به‌کار برده شده در این تحقیق معرفی شدند تا بر اساس آن‌ها نقشه حساسیت به سیلاب (سیل‌گیری) در محدوده مطالعاتی تهیه شود.



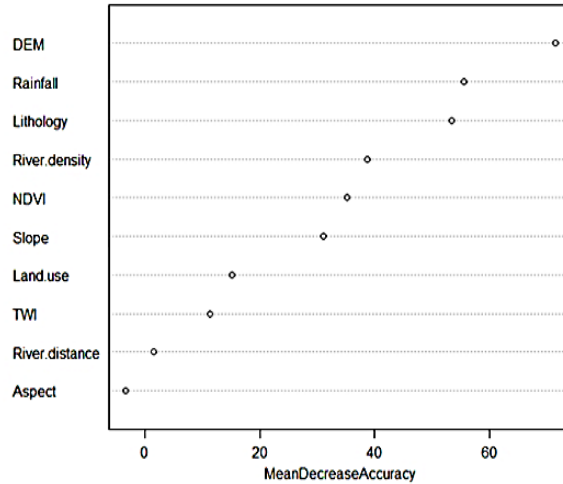


شکل ۲- لایه‌های اطلاعاتی تأثیرگذار بر رخ داد سیلاب در منطقه مورد مطالعه  
 Figure 2- Effective thematic layers on flood occurrence in the study area

### نتایج حاصل از روش جنگل تصادفی

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار R مدل‌سازی و اولویت‌بندی بین عوامل مؤثر با مدل جنگل تصادفی انجام گرفت. با توجه به شکل ۳ نتایج نشان داد از بین ۱۰ عامل اصلی، عوامل ارتفاع، بارندگی و سنگ‌شناسی

به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه بوده و در مقابل عوامل جهت شیب و فاصله از رودخانه دارای کم‌ترین تأثیر بر وقوع سیل می‌باشند (شکل ۳).

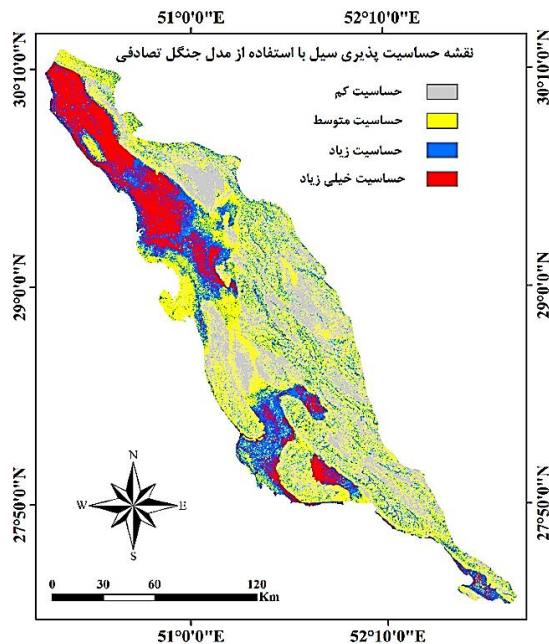


شکل ۳- اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه

Figure 3- Prioritization of factors affecting the occurrence of floods in the study area

حساسیت زیاد و ۱۳/۲۰ درصد از مساحت استان دارای حساسیت خیلی زیاد نسبت به سیل‌گیری هستند. بیشترین مساحت حساسیت به سیل در این مدل مربوط به طبقه کم است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل جنگل تصادفی (شکل ۴)، ۳۷/۵۹ درصد از مساحت استان دارای حساسیت کم، ۲۸/۸۶ درصد از مساحت استان دارای حساسیت متوسط، ۲۰/۳۴ درصد از استان دارای



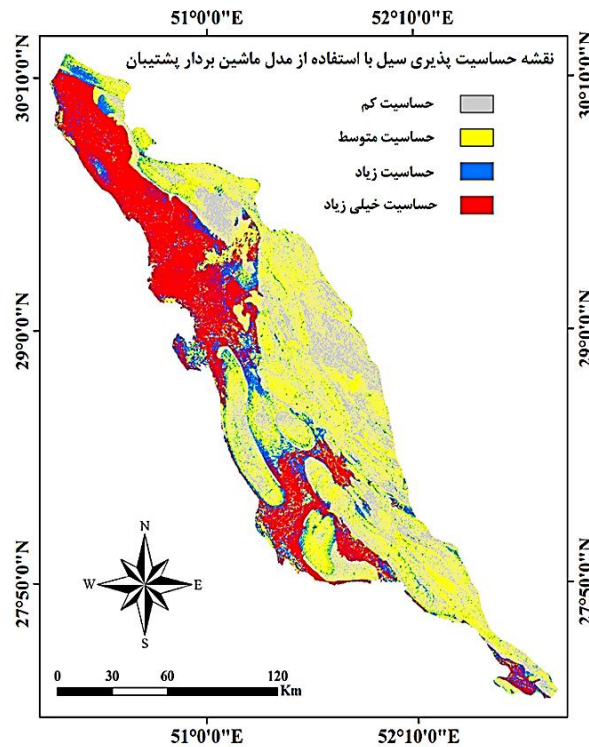
شکل ۴- نقشه پتانسیل سیلاب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش جنگل تصادفی

Figure 4- Flood susceptibility map in the study area using RF method

رضایی و همکاران

نتایج حاصل از روش مدل ماشین بردار پشتیبان نتایج به دست آمده بر اساس این مدل (شکل ۵) نشان می‌دهد که ۳۷/۳۲ درصد از مساحت استان دارای حساسیت کم، ۲۶/۰۱ درصد از مساحت استان دارای حساسیت متوسط، ۱۲/۴۲ درصد از استان دارای

حساسیت زیاد و ۲۴/۴۲ درصد از مساحت استان دارای حساسیت خیلی زیاد نسبت به سیل‌گیری هستند. بیش‌ترین مساحت حساسیت سیل در این مدل مربوط به طبقه متوسط است.



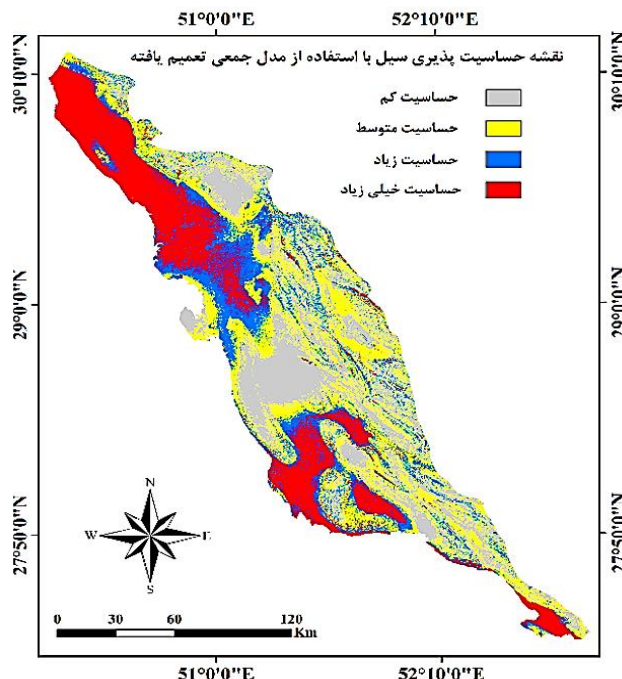
شکل ۵- نقشه پتانسیل سیلاب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش مدل ماشین بردار پشتیبان

Figure 5- Flood susceptibility map in the study area using the SWM model

نتایج حاصل از روش مدل جمعی تعمیم یافته

بر اساس نتایج حاصل (شکل ۶)، ۳۳/۵۳ درصد از مساحت استان دارای حساسیت کم، ۲۴/۵۲ درصد از مساحت استان دارای حساسیت متوسط، ۱۸/۵۱ درصد

از استان دارای حساسیت زیاد و ۲۳/۴۲ درصد از مساحت استان دارای حساسیت خیلی زیاد نسبت به سیل‌گیری هستند. بیشترین مساحت حساسیت سیل در این مدل مربوط به طبقه کم است.

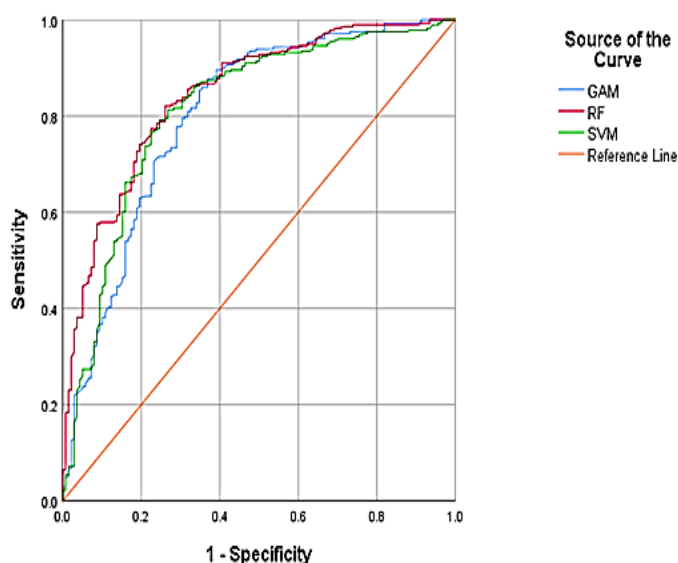


شکل ۶- نقشه پتانسیل سیلاب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش مدل جمعی تعمیم‌یافته  
 Figure 6- Flood potential map in the studied area using GAM model

بوده‌اند. نمودار ROC مربوط به مدل جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و مدل جمعی تعمیم‌یافته در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده دقت ۸۸/۵ برای مدل جنگل تصادفی، دقت ۸۶ درصد برای مدل ماشین بردار پشتیبان و دقت ۸۵ درصد برای مدل جمعی است.

#### ارزیابی نتایج مدل‌ها

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدل جنگل تصادفی دقت بیشتری را نسبت به سایر مدل‌ها به خود اختصاص داده است. همچنین دو مدل دیگر نیز از دقت خیلی خوبی برای مدل‌سازی سیل در منطقه مورد مطالعه برخوردار



شکل ۷- منحنی ROC روش‌های جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و مدل جمعی تعمیم‌یافته  
 Figure 7- The ROC of RF, SVM, and GAM models

**بحث**

از نقشه تراکم زهکشی نشان می‌دهد که مناطق دارای کم‌ترین میزان تراکم زهکشی دارای بیش‌ترین میزان سیل بوده‌اند که علت آن را می‌توان مرتبط با واحدهای سنگ‌شناسی دانست. بررسی عامل فاصله از رودخانه نشان می‌دهد که بیش‌ترین سیل‌ها در بیش‌ترین فاصله از شبکه آبراهه اتفاق افتاده و علت آن را می‌توان در تغییر کاربری اراضی جستجو کرد. با انجام عملیات ساخت‌وساز و تغییر کاربری سیل‌خیزی افزایش می‌یابد. بررسی نتایج کلاس‌های درجه شیب نشان می‌دهد که بیش‌تر سیل‌های رخ داده در کلاس اول یعنی جایی که درجه شیب  $0-5/6$  درجه است اتفاق افتاده است که با نظرات (Avand *et al.*, 2020) مطابقت دارد. با افزایش درجه شیب در منطقه مورد مطالعه تعداد سیل‌ها کاهش یافته و کم‌ترین وقوع سیل‌گیری‌ها در مناطقی با حداکثر شیب است. بررسی نتایج حاصل از شاخص رطوبت توپوگرافی نشان می‌دهد که سیل‌خیزی با افزایش میزان شاخص رطوبت توپوگرافی افزایش می‌یابد. با توجه به تعریف پارامتر شاخص رطوبت توپوگرافی، می‌توان این پارامتر را معادل نواحی و اراضی خیس دانست. در استان بوشهر بیش‌ترین میزان رخداد سیلاب در چهارمین کلاس یعنی بازه عددی  $14/9-11/2$  است؛ یعنی جایی که تراکم زهکشی نسبتاً بالا دارد و خاک قادر به جذب رطوبت نمی‌باشد و در نتیجه سیل‌گیری افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش (Rafiei *et al.*, 2021-) مطابقت دارد.

**نتیجه‌گیری کلی**

سیلاب یکی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی محسوب می‌شود؛ بنابراین تهیه نقشه حساسیت سیل‌گیری گامی مهم در راستای مدیریت سیلاب است. شایان ذکر است دو عامل بارش و تغییر کاربری اراضی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند و هم‌چنین مدل جنگل تصادفی در مقایسه با سایر روش‌های یادگیری ماشین دقت بیش‌تری در تهیه نقشه حساسیت سیل‌گیری در منطقه مورد مطالعه داشت. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر

نتایج بررسی عامل جهت شیب نشان می‌دهد که بیش‌تر سیلاب‌ها در جهت جنوب شرقی رخ داده است که علت آن را می‌توان به پوشش گیاهی کم و توانایی کم واحدهای سنگ‌شناسی در جذب و نفوذ آب نسبت داد. بررسی عامل ارتفاع نشان می‌دهد که بیش‌تر سیلاب‌ها در ارتفاع  $0-71$  متر اتفاق افتاده است که دلیل آن جاری شدن سیلاب در مناطق با ارتفاع کم‌تر است که با نتایج پژوهش (Yousefi *et al.*, 2020) مطابقت دارد. بررسی نتایج عامل کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیش‌تر سیلاب‌ها در کاربری زمین‌های کشاورزی و بیشه‌زار و درختچه‌زار اتفاق افتاده است که تراکم کم پوشش گیاهی و به‌تبع نفوذپذیری کم را می‌توان عامل سیل‌گیری منطقه عنوان کرد. بررسی عامل سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که بیش‌تر سیلاب‌ها در سازندهای کواترنری اتفاق افتاده است که برخلاف نفوذپذیری خوب این نوع سازندها به دلیل قرارگیری در مناطق با شیب و ارتفاع کم شاهد بیش‌ترین میزان سیل‌گیری بوده‌اند. بررسی نتایج حاصل از NDVI منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد در مناطقی که پوشش گیاهی وجود ندارد بیش‌ترین سیل‌گیری اتفاق افتاده است. مناطقی که پوشش گیاهی کم‌تری دارند یا مناطقی که بدون پوشش گیاهی هستند نسبت به مناطقی که پوشش گیاهی بیش‌تری دارند مستعد سیلاب هستند، زیرا در پوشش گیاهی کم، جذب و نفوذ کاهش می‌یابد. این نتیجه با پژوهش (Pham *et al.*, 2020) مطابقت دارد. بررسی نتایج حاصل از بارندگی نشان می‌دهد که جهت جنوب‌شرقی حداکثر میزان بارش را دریافت کرده است. هرچه میزان بارندگی بیش‌تر باشد سیل‌خیزی نیز بیش‌تر می‌شود و این موضوع در مورد استان بوشهر هم صدق می‌کند یعنی مناطقی که بیش‌ترین بارندگی را دریافت کرده‌اند شاهد بیش‌ترین سیل‌خیزی می‌باشند که نتایج این بخش با پژوهش‌های (Chițu *et al.*, 2020; Chapi *et al.*, 2017) که بین بارندگی و پتانسیل تولید رواناب رابطه‌ای مستقیم وجود دارد، مطابقت دارد. بررسی نتایج حاصل

برای مدل‌سازی و مقایسه نتیجه آن با پژوهش حاضر استفاده کرد.

می‌تواند کمک قابل‌توجهی به دولت، برنامه‌ریزان و مهندسين در پیش‌گیری و کاهش وقوع سیلاب نماید. هم‌چنین می‌توان از روش‌های دیگر و ترکیب آن‌ها

## References

- Ali, S. A., Parvin, F., Pham, Q. B., Vojtek, M., Vojteková, J., Costache, R., ... & Ghorbani, M. A. (2020). GIS-based comparative assessment of flood susceptibility mapping using hybrid multi-criteria decision-making approach, naïve Bayes tree, bivariate statistics and logistic regression: a case of Topľa basin, Slovakia. *Ecological Indicators*, 117, 106620. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106620>
- Al-Juaidi, A.E., Nassar, A.M. & Al-Juaidi, O.E. (2018). Evaluation of flood susceptibility mapping using logistic regression and GIS conditioning factors. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(24), 765. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4095-0>
- Ardakanian, A. (1983). *Tourism guide in Bushehr province. Tehran: For tomorrow.* Shabak 1-10-8169-964. (In Persian)
- Avand, M., Janizadeh, S., Tien Bui, D., Pham, V. H., Ngo, P. T. T. & Nhu, V. H. (2020). A tree-based intelligence ensemble approach for spatial prediction of potential groundwater. *International Journal of Digital Earth*, 13(12), 1408-1429. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1718785>
- Bui, D. T., Pradhan, B., Nampak, H., Bui, Q. T., Tran, Q. A. & Nguyen, Q. P. (2016). Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical cyclone area using GIS. *Journal of Hydrology*, 540, 317-330. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.027>
- Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S. & Tofani, V. (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2815-2831. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-13-2815-2013>
- Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T. & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environmental modelling & software*, 95, 229-245. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>
- Chau, K. W., Wu, C. L. & Li, Y. S. (2005). Comparison of several flood forecasting models in Yangtze River. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(6), 485-491. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699)
- Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Haghghi, A. T., Pradhan, B. & Kløve, B. (2019). Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. *Journal of hydrology*, 569, 142-154. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.002>
- Francke, T. K. O. (2009). *Measurement and modelling of water and sediment fluxes in meso-scale dryland catchments.* (Doctoral dissertation, Universität Potsdam). <http://dx.doi.org/10.5445/IR/1000104223>
- Gharakhanlou, N.M. & Perez, L. (2023). Flood susceptible prediction through the use of geospatial variables and machine learning methods. *Journal of hydrology*, 617, p.129121. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129121>
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J. & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 909-926. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-013-0464-0>
- Kariminejad, N., Hosseinalizadeh, M., Pourghasemi, H.R., Ownegh, M., Rossi, M. & Tiefenbacher, J.P. (2020). Optimizing

- collapsed pipes mapping: Effects of DEM spatial resolution. *Catena*, 187, p.104344. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104344>
- Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I. & Bui, D. T. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744-755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>
- Kia, M. B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R., Sulaiman, W. N. A. & Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental earth sciences*, 67(1), 251-264. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1504-z>
- Lee, S., Park, I. & Choi, J. K. (2012). Spatial prediction of ground subsidence susceptibility using an artificial neural network. *Environmental management*, 49(2), 347-358. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9766-5>
- Leskens, J. G., Brugnach, M., Hoekstra, A. Y. & Schuurmans, W. (2014). Why are decisions in flood disaster management so poorly supported by information from flood models? *Environmental modelling & software*, 53, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.11.003>
- Mohammadi, M. & Pourqhasmi, H. R. (2017). Prioritization of Landslide-Conditioning Factors and its Landslide Susceptibility Mapping using Random Forest New Algorithm (Case Study: A Part of Golestan province). *Journal of Watershed Management Research*, 8(15), 161-170. <http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.8.15.161> (In Persian)
- Naghibi, S. A., Ahmadi, K. & Daneshi, A. (2017). Application of support vector machine, random forest, and genetic algorithm optimized random forest models in groundwater potential mapping. *Water Resources Management*, 31(9), 2761-2775. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1660-3>
- Nguyen, P. T., Ha, D. H., Avand, M., Jaafari, A., Nguyen, H. D., Al-Ansari, N. ... & Pham, B. T. (2020). Soft computing ensemble models based on logistic regression for groundwater potential mapping. *Applied Sciences*, 10(7), 2469. <https://doi.org/10.3390/app10072469>
- Norouzi, G. & Taslimi, M. (2012). The impact of flood damages on production of Iran's Agricultural Sector. *Middle East J Scientific Research*, 12, 921-926. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2012.12.7.1783>
- Pham, B. T., Avand, M., Janizadeh, S., Phong, T. V., Al-Ansari, N., Ho, L. S. ... & Prakash, I. (2020). GIS based hybrid computational approaches for flash flood susceptibility assessment. *Water*, 12(3), 683. <https://doi.org/10.3390/w12030683>
- Pierdicca, N., Pulvirenti, L., Chini, M., Guerriero, L. & Ferrazzoli, P. (2010). A fuzzy-logic-based approach for flood detection from Cosmo-SkyMed data. In *2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 4796-4798). IEEE. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1660-3>
- Rafiei-Sardooi, E., Azareh, A., Choubin, B., Mosavi, A. H. & Clague, J. J. (2021). Evaluating urban flood risk using hybrid method of TOPSIS and machine learning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102614. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102614>
- Rahmati, O., Zeinivand, H. & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics. Natural Hazards and Risk*, 7(3), 1000-1017. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.10450>
- Razavi Termeh, S. & Malek, M. (2016). Flood susceptibility mapping using ensemble of evidential belief (EBF) function with Analytical hierarchy process (AHP) (Case study: Jahrom Township). *Scientific-research journal of mapping sciences and techniques*, (8), 1-15. <http://dx.doi.org/10.46717/igj.55.2C.10ms-2022-08-23> (In Persian)

Yousefi, H., Yonesi, H.A., Davoudimoghadam, D., Arshia, A. & Shamsi, Z. (2022). Determination of Flood potential Using CART, GLM and GAM Machine learning

Models. *Irrigation and Water Engineering*, 12(4), 84-105.  
<https://doi.org/10.22125/IWE.2022.150684>

## Content

### **Position of the Fakhran Watershed in Iran's South Khorasan Province in the Watershed Management Ladder**

Seyed Hamidreza Sadeghi, Fatemeh Hasanpour, Arasteh Payfeshoordeh, Fatemeh Tavakoli, Fatemeh Esmail Zadeh, Fatemeh Abdulbaghi, Negin Rashidi, Sahar Mousavian, Hamed Beigi, Marjan Bahlekeh and Reza Chamani

1-19

### **Investigating the uncertainty of factors affecting water erosion Hazards in the Qharnaveh watershed using the Bayesian Averaging Model**

Seyed Pedram Nainiva, Ali Najafinejad, Habib Nazarnejad, Arash Zare Garizi

20-34

### **Integration of multi-criteria decision models and recreation opportunity spectrum in the mapping of recreational ecosystem service in Semnan Province**

Fatemeh Mohammadyari, Ardavan Zarandian, Roya Mousazadeh

35-49

### **Comparison of the efficiency of sediment rating curve and learning models for estimating suspended sediment load in karst rivers (Case study: Hydrometric stations of Khorram Abad, Alshatar and Biranshahr watersheds)**

Nasrin Beiranvand, Alireza Sepahvand, Ali Haghizadeh

50-65

### **Social network analysis of rangeland stakeholders in Robat village, Khorasan Razavi Province**

Amirreza Heirany, Mahdi Kolahi, Hamid Omranian Khorasani

66-80

### **Spatial modeling and mapping of flood potential using machine learning algorithms (Case study: Bushehr province)**

Fatemeh Rezaei, Hamid Reza Pourghasemi, Seyed Rashid Fallah Shamsi, Rasoul Khosravi, Narges Kariminejad

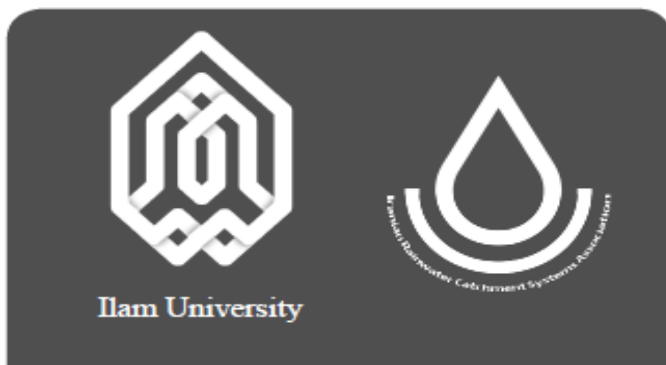
81-96



# Integrated Watershed Management

Vol: 4, No: 2. Summer 2024

|                          |  |
|--------------------------|--|
| 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)<br><b>Dr. Gholamreza Zehtabian</b> (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran)<br><b>Dr. Forood Sharifi</b> (Professor, Research Group of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran)<br><b>Dr. Haji Karimi</b> (Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran)<br><b>Dr. Hamid Reza Nassery</b> (Professor, Department of Minerals and Groundwater Resources, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran)<br><b>Dr. Hassan Pourbabaei</b> (Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran)<br><b>Dr. Mohsen Rezaei</b> (Professor, Department of Geology, Shiraz University, Faculty of Sciences, Shiraz, Iran)<br><b>Dr. Zargham Mohammadi</b> (Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran)<br><b>Dr. Hamid Reza Pourghasemi</b> (Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran)<br><b>Dr. Abazar Esmali Ouri</b> (Professor, Department of Range & Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran)<br><b>Dr. Mohsen Tavakoli</b> (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran)<br><b>Dr. Noredin Rostami</b> (Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran)<br><b>Dr. Marzban Faramarzi</b> (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran)<br><b>Dr. Mehdi Heydari</b> (Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran)<br><b>Dr. Lahcen Benaabidate</b> (Professor, University of Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculty of Sciences and Techniques/ Environment Teaching and Research)<br><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>  |



Address: **Deputy of Research and Technology, Ilam University,**

**Pajooresh 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: 4, No: 2. Summer 2024

Online ISSN: 2783-4581

## **Position of the Fakhran Watershed in Iran's South Khorasan Province in the Watershed Management Ladder**

Seyed Hamidreza Sadeghi, Fatemeh Hasanpour, Arasteh Payfeshoordeh, Fatemeh Tavakoli, Fatemeh Esmail Zadeh, Fatemeh Abdulbaghi, Negin Rashidi, Sahar Mousavian, Hamed Beigi, Marjan Bahlekeh and Reza Chamani

1-19

## **Evaluation of dust changes and its relationship with temperature (Case study: Khuzestan province)**

Fateme farzanehpey, Abolfazl Ranjbar-Fordoei, Hassan Khosravi, Sayyed Hojjat Mousavi

20-34

## **Performance Evaluation of Two General Circulation Models for Downscaling Average Temperature in Birjand County**

Mohammad Fouladi Nasrabad, Mahdi Amirabadizadeh, Mahdi Dastourani

35-49

## **Application of systems thinking approach in the extreme events analysis (Case study: Karoun Basin)**

Payam Amouzegari, Arash Malekian, Khaled Ahmadaali, Mehdi Ghorbani, Seyed Hamzeh Safavi Homami

50-65

## **Development of Management Solutions to Increase Runoff from the Past to the Future (Case Study: Zayandeh Roud Watershed, Eskandari sub-watershed)**

Zeinab Karimi, Ali Talebi

66-80

## **Evaluation of the Sensitivity of the Empirical Model of MPSIAC Parameters on Sediment Yield in the Basin**

Mehdi Hayatzadeh, Vahid Moosavi, Esmaeil Soheili

81-96