



# مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

سال پنجم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴

تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز با تمرکز بر بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی

۱-۱۸

احسان فتحی، علی طالبی، محمدرضا اختصاصی، جمال مصفایی

تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های محاسبه میانگین فشار، وضعیت و شاخص‌های پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور

۱۹-۳۶

سیدحمیدرضا صادقی، ائلناز قابل‌نظام، فروغ احمدی‌نژاد باغبان، مصطفی ذبیحی‌سیلابی، رضا چمنی

مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز و راهکارهای سازگاری با آن

۳۷-۵۸

مریم رضائی

تحلیل پویایی انسجام سازمانی و تعیین نظام حکمرانی سرزمین: کاربرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی

۵۹-۷۸

مهدی قربانی، سیدامیرحسین گرکانی، صدیقه غفاری، لیلا عوضپور، مجید رحیمی

پیش‌بینی اثر اقدامات بیولوژیک بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین

۷۹-۹۶

فریبا دارابی، علی نجفی‌نژاد، حمیدرضا پورقاسمی، امیر سعدالدین

مقایسه مدل‌های Facebook's Prophet، Blaney-Criddle و Thornthwaite در پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر و تعرق روزانه

۹۷-۱۱۱

(مطالعه موردی: شهرستان الشتر)

حافظ میرزاپور، علی حقی زاده، شکوفه حسنونند، لیلا قاسمی

پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جنگل‌های نیمه‌خشک بلوط زاگرس

۱۱۲-۱۲۸

نگین بزرگمهر، کتابیون ورشوساز، سینا عطارروشن، سولماز دشتی، ندا اورک

بررسی کارائی شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته‌شده (مطالعه موردی: جنگل‌های بیوره

۱۲۹-۱۴۶

شهرستان ملکشاهی، استان ایلام)

کبری عزیزی، عبدالعلی کرمشاهی، رضا امیدپور



# مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال پنجم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴

۴۵۸۱-۲۷۸۲

دانشگاه ایلام با همکاری انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبخیز ایران

دکتر نورالدین رستمی

دکتر حاجی کریمی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

دکتر مهدی حیدری

دکتر نورالدین رستمی

دکتر نورالدین رستمی، دکتر رضا امیدپور

دکتر رضا امیدپور

شاپا الکترونیکی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای هیأت تحریریه

مدیر داخلی

ویراستار انگلیسی

ویراستار فارسی

صفحه آرا و طراح جلد

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

تلفکس: ۰۸۴۳۲۲۲۲۷۰۳

صندوق پستی: ۵۱۶-۶۹۳۱۵

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

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز با تمرکز بر بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی

احسان فتحی، علی طالبی، محمدرضا اختصاصی، جمال مصفايي

۱-۱۸

تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های محاسبه میانگین فشار، وضعیت و شاخص‌های پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور

سیدحمیدرضا صادقی، ائلناز قابل‌نظام، فروغ احمدی‌نژاد باغبان، مصطفی ذبیحی‌سیلابی، رضا چمنی

۱۹-۳۶

مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز و راهکارهای سازگاری با آن

مریم رضائی

۳۷-۵۸

تحلیل پویایی انسجام سازمانی و تعیین نظام حکمرانی سرزمین: کاربرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی

مهدی قربانی، سیدامیرحسین گرکانی، صدیقه غفاری، لیلا عوضپور، مجید رحیمی

۵۹-۷۸

پیش‌بینی اثر اقدامات بیولوژیک بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین

فریبا دارابی، علی نجفی‌نژاد، حمیدرضا پورقاسمی، امیر سعدالدین

۷۹-۹۶

مقایسه مدل‌های Facebook's Prophet، Thornthwaite و Blaney-Criddle در پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر و تعرق

روزانه (مطالعه موردی: شهرستان الشتر)

حافظ میرزاپور، علی حقی‌زاده، شکوفه حسنونند، لیلا قاسمی

۹۷-۱۱۱

پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل به روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در جنگل‌های نیمه‌خشک بلوط زاگرس

نگین بزرگمهر، کتابون وروشوساز، سینا عطارروشن، سولماز دشتی، ندا اورک

۱۱۲-۱۲۸

بررسی کارائی شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده (مطالعه موردی: جنگل‌های بیوره

شهرستان ملکشاهی، استان ایلام)

کبری عزیزی، عبدالعلی کرمشاهی، رضا امیدپور

۱۲۹-۱۴۶



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

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

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

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

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

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

## ۲. نکات قابل توجه نویسندگان برای نگارش مقاله

۱-۲. ساختار مقاله

ساختار مقاله بر اساس نوع آن تعیین می‌گردد. چهار نوع عمده مقالات عبارت‌اند از مقالات پژوهشی، مقالات فنی و ترویجی، مقالات مروری و مقالات کوتاه. در این نشریه حداکثر تعداد کلمات مقاله‌های پژوهشی و فنی و ترویجی ۵۰۰۰، مقاله‌های مروری ۲۵۰۰۰ و مقاله‌های کوتاه ۲۵۰۰ کلمه در نظر گرفته شده است. تعداد منابعی که برای هر مقاله لازم است به ترتیب حداقل ۳۰، ۵۰ و ۵ مورد است. از نظر تعداد جدول‌ها و شکل‌ها تنها مقالات کوتاه محدودیت دارند و آن نیز در مجموع سه جدول یا شکل را شامل می‌شود.

۱. نکات قابل توجه نویسندگان پیش از نگارش مقاله

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

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

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

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

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

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

۱-۷. پذیرش مقاله تنها از طریق سایت فصلنامه ([iwm.ilam.ac.ir](http://iwm.ilam.ac.ir)) امکان‌پذیر است.

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

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

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

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

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

#### ۲-۲-۱. چکیده مبسوط انگلیسی

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

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

#### ۲-۲-۲. چکیده مبسوط فارسی

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

#### ۲-۲-۳. واژه‌های کلیدی

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

#### ۲-۲-۴. مقدمه

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

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

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

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

#### ۲-۲. سبک نگارش بخش‌های مختلف مقالات

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

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

#### ۲-۲-۸. نتیجه‌گیری کلی

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

#### ۲-۲-۹. سپاسگزاری

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

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

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

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 environmental*. London: Routledge.

ب) کتاب ترجمه شده

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

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

ج) مقالات نشریات

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

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

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

Rostami (۲۰۱۴) گزارش کرد

Mohseni Saravi و Rostami (۲۰۰۶) گزارش کردند

Rostami و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند

۲-۱۱. منابع پایانی

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

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

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

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

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

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

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

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

د) نمونه تنظیم یک سند از یک کنفرانس

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

### ۳. شکل ظاهری مقاله

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

۳-۲. لازم است متن فارسی مقاله با قلم B Nazanin 13 و متن لاتین با قلم Times New Roman 11 نوشته

شود. متن چکیده فارسی با قلم B Nazanin 10 Bold

نوشته شود. عنوان اصلی مقاله با قلم B Titr 14 و سایر

عنوان‌ها با قلم B Nazanin 14 Bold تنظیم شوند. منابع

پایانی با قلم Times New Roman 11 نوشته شوند.

عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی ( B

Nazanin 11 به صورت Bold) و انگلیسی ( Times

New Roman 10 به صورت Bold) نوشته شود. اعداد

داخل جدول‌ها به صورت انگلیسی ( Times New

Roman 9) نوشته شوند و سایر اطلاعات داخل شکل‌ها و

جداول به دو صورت فارسی (B Nazanin 10) و انگلیسی

(Times New Roman 9) نوشته شوند.

۳-۳. شکل‌ها و جدول‌ها

*of Watershed Engineering and Management*, 11(2), 523-536.

<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120069.1417> (In Persian)

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

Rostami, N., & Fathizad, H. (2022). Spatial and temporal changes of land uses and its relationship with surface temperature in western Iran. *Atmosfera*, 35(4), 701-717.

<https://doi.org/10.20937/ATM.52985>

د) پایان‌نامه و رساله

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

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

ه) مجموعه مقالات

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

و) کتاب منتشر شده در سازمان‌ها یا نهادها

نام سازمان یا نهاد. (سال انتشار). عنوان کتاب (به صورت

کج‌نویسی). محل انتشار: ناشر.

ز) وبگاه اینترنتی

نام‌خانوادگی نویسنده، نام نویسنده. (در صورت وجود تاریخ انتشار). عنوان مطلب مورد استفاده (به صورت کج‌نویسی).

برگرفته از: آدرس اینترنتی.

#### ۴. ارسال مقاله

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

جداگانه‌ای ارسال شود. لازم به ذکر است تمام اطلاعات فوق به دو زبان فارسی و انگلیسی نوشته شوند.

در فایل دوم (فایل متن اصلی مقاله بدون نام نویسندگان)، مقاله را که در ساختار مناسب بر اساس نوع مقاله تنظیم شده است بارگذاری می‌شود.

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

#### ۵. پیگیری فرایند انتشار مقاله

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

# مجموعه مقالات

## Comparative analysis of watershed health and sustainability assessment models and indicators with a focus on improving management decision-making

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

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

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

\* Corresponding author: [talebisf@yazd.ac.ir](mailto:talebisf@yazd.ac.ir)

(Received: 20 Jun 2024

Revised: 16 August 2024

Accepted: 03 September 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Watershed management refers to a set of actions and methods aimed at protecting and improving the quality and quantity of water and soil resources in these areas. The goal of this management is to reduce soil erosion, control floods, improve water quality, and preserve biodiversity. Assessing the health and sustainability of watersheds is a valuable tool for identifying and determining appropriate management strategies for the various human, ecological, and managerial aspects of the watershed. In this context, various methods and indicators have been developed to assess watershed health and sustainability, allowing for the determination of their health status and sustainability levels. This study aims to review some of the methods and indicators used in assessing watershed health and sustainability, such as the Watershed Sustainability Index (WSI), the Enhanced Water Poverty Index (EWPI), the RRV conceptual model, the PSR framework, and the Watershed Health Assessment Framework (WHAF).

**Materials and methods:** This research, as a review study, examines and analyzes various indicators and models for assessing the health and sustainability of watersheds. Indicators such as the WSI, which includes four sub-indicators; hydrology, environment, life, and policy and the EWPI, which consists of five sub-indicators; resources, access, capacity, use, and environment have been reviewed. Additionally, the Pressure-State-Response (PSR) conceptual model, which utilizes criteria and indicators such as hydrology, human factors, climate, and other related factors, has been analyzed. The RRV model, which combines three indicators; reliability, resilience, and vulnerability to measure the efficiency of a system, has also been examined. Finally, the WHAF index, with its five sub-indicators; hydrology, geomorphology, water quality, connectivity, and biology has been studied. The data required for utilizing these indicators and models are collected from various sources, such as regional water authorities, agricultural organizations, completing questionnaires, and software like RS and GIS. These data include environmental, socio-economic information, and various qualitative aspects, which are essential for a precise and comprehensive assessment of watershed health and sustainability.

**Results and Discussion:** The analysis indicates that each of the presented indicators and models has its own specific strengths and weaknesses and can be utilized under different conditions and for varying objectives. The WSI provides a useful tool for a comprehensive evaluation of watershed sustainability, with the capability to analyze various dimensions of sustainability, including both physical and human aspects. However, the need for precise and extensive data for each sub-indicator is one of the main challenges in using it. The EWPI emphasizes water poverty and resource management, with a stronger focus on economic aspects and access to resources. This index can help identify areas that face challenges in accessing water resources. However, its drawbacks include incomplete coverage of environmental aspects and the lack of consideration for spatial and temporal changes. The PSR model, by integrating various criteria, provides a comprehensive assessment of the pressures on the watershed and the existing management responses. This model is particularly effective in identifying the strengths and weaknesses of watershed management systems and can be utilized as a tool to support managerial decision-making. The RRV model assesses the sustainability of systems based on their ability to cope with changes and threats. This model is well-suited for evaluating the effectiveness of management systems and predicting vulnerable points. The WHAF index provides a comprehensive framework for assessing watershed health. This index is particularly useful for a thorough analysis of the environmental status of the watershed. However, effective use of the WHAF index requires comprehensive and accurate data across all relevant areas.

**Conclusions:** Overall, the findings of this review study indicate that the use of various indicators and models can enhance the understanding of watershed health and sustainability. However, challenges such as data scarcity, the need for extensive spatial and temporal coverage, and the lack of consideration for all environmental aspects in some of these models and indicators are observed. Therefore, the selection of the appropriate indicator or model should be based on the specific conditions of the watershed and the management objectives to achieve the best outcomes. Future research is recommended to evaluate the effectiveness and accuracy of these indicators and models in real-world conditions through statistical methods and practical implementation in various study areas. Such studies could contribute to the further improvement of these tools and enhance their applicability in water resource management and environmental conservation.

**Keywords:** Ecosystem, Environmental Policymaking, Hydrology, Sustainable Management, Watershed Conservation

Citation: Fathi, E., Talebi, A., Ekhtesasi, M., & Mosaffaie, J. (2025). Comparative analysis of watershed health and sustainability assessment models and indicators with a focus on improving management decision-making. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 1-18. doi= 10.22034/iwm.2024.2033191.1160

### 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 مقایسه‌ای مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز با تمرکز بر بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی

احسان فتحی<sup>۱</sup>، علی طالبی<sup>۲\*</sup>، محمدرضا اختصاصی<sup>۳</sup>، جمال مصفايي<sup>۴</sup>

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

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

\*نویسنده مسئول: [talebisf@yazd.ac.ir](mailto:talebisf@yazd.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** مدیریت حوزه آبخیز به مجموعه‌ای از اقدامات و روش‌ها اشاره دارد که برای حفاظت و بهبود کیفیت و کمیت منابع آب‌و خاک به کار می‌رود. هدف از این مدیریت، کاهش فرسایش خاک، کنترل سیلاب‌ها، بهبود کیفیت آب و حفظ تنوع زیستی است. ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها ابزار مفیدی برای تعیین و تشخیص راهکارهای مدیریتی مناسب برای بخش‌های مختلف انسانی، بوم‌شناختی و مدیریتی آبخیز است. در این راستا، روش‌ها و شاخص‌هایی مختلفی برای ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز توسعه یافته‌اند که بر اساس آن‌ها می‌توان درجه‌ی سلامت و سطح پایداری آبخیزها را تعیین نمود. هدف از این پژوهش، مروری بر برخی از روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز مانند شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI)، شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI)، مدل مفهومی RRV، مدل مفهوم PSR و چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF) می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش به‌عنوان یک مطالعه مروری، به بررسی و تحلیل شاخص‌ها و مدل‌های مختلف ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز می‌پردازد. در این راستا، شاخص‌هایی مانند WSI شامل چهار زیرشاخص هیدرولوژی، محیط‌زیست، زندگی و سیاست، و شاخص EWPI شامل پنج زیرشاخص منابع، دسترسی، ظرفیت، استفاده و محیط‌زیست مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، مدل مفهوم PSR (فشار-وضعیت-پاسخ) که از معیارها و شاخص‌هایی مانند هیدرولوژی، انسان، اقلیم و سایر عوامل مرتبط استفاده می‌کند، تحلیل شده است. مدل RRV نیز که از سه شاخص پایایی، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری به‌صورت ترکیبی برای اندازه‌گیری کارایی یک سامانه بهره می‌گیرد، بررسی گردیده است. درنهایت، شاخص WHAF با پنج زیرشاخص هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، کیفیت آب، ارتباط و زیست‌شناسی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. داده‌های موردنیاز برای استفاده از این شاخص‌ها و مدل‌ها از منابع مختلفی مانند شرکت آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی، تکمیل پرسش‌نامه‌ها و استفاده از نرم‌افزارهای سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جمع‌آوری می‌گردد. این داده‌ها شامل اطلاعات محیط‌زیست، اقتصادی-اجتماعی و جنبه‌های کیفی مختلفی می‌باشند که برای ارزیابی دقیق و جامع سلامت و پایداری حوزه آبخیز ضروری هستند.

**نتایج و بحث:** تحلیل‌ها نشان می‌دهد که هر یک از شاخص‌ها و مدل‌های مطرح‌شده دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود هستند و می‌توانند در شرایط مختلف و برای اهداف متفاوت به کار گرفته شوند. شاخص WSI ابزار مفیدی برای ارزیابی جامع پایداری حوزه آبخیز ارائه می‌دهد. این شاخص توانایی تحلیل ابعاد مختلف پایداری، از جمله جنبه‌های فیزیکی و انسانی را دارد، اما نیاز به داده‌های دقیق و گسترده برای هر زیرشاخص، یکی از چالش‌های اصلی استفاده از آن است. شاخص EWPI با تأکید بر فقر آبی و مدیریت منابع آب، بیشتر بر جنبه‌های اقتصادی و دسترسی به منابع تمرکز دارد. این شاخص می‌تواند به شناسایی مناطقی که در دسترسی به منابع آب با مشکل مواجه‌اند، کمک کند. با این حال، عدم پوشش کامل جنبه‌های محیط‌زیستی و تغییرات مکانی و زمانی از معایب این شاخص است. مدل PSR با ترکیب معیارهای مختلف، به ارزیابی جامع از فشارهای وارد بر حوزه آبخیز و پاسخ‌های مدیریتی موجود می‌پردازد. این مدل به‌ویژه در شناسایی نقاط ضعف و قوت سامانه‌های مدیریت حوزه آبخیز مؤثر است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به کار رود. مدل RRV ارزیابی پایداری سامانه‌ها را با توجه به توانایی آن‌ها در مقابله با تغییرات و تهدیدات انجام می‌دهد. این مدل به‌خوبی می‌تواند برای ارزیابی کارایی سامانه‌های مدیریتی و پیش‌بینی نقاط آسیب‌پذیر استفاده شود. شاخص WHAF با پنج زیرشاخص هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، کیفیت آب، ارتباط و زیست‌شناسی، یک چارچوب جامع برای ارزیابی سلامت آبخیز فراهم می‌کند. این شاخص به‌ویژه در تحلیل جامع وضعیت محیط‌زیستی حوزه آبخیز مفید است، اما برای استفاده مؤثر نیاز به داده‌های جامع و دقیق در تمامی زمینه‌ها دارد.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع، یافته‌های این مطالعه مروری نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌ها و مدل‌های مختلف می‌تواند به درک بهتر وضعیت سلامت و پایداری حوزه آبخیز کمک کند. با این حال، چالش‌هایی مانند کمبود داده‌ها، نیاز به پوشش گسترده مکانی و زمانی، و عدم در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های محیط‌زیستی در برخی از این مدل‌ها و شاخص‌ها مشاهده می‌شود. به همین دلیل، انتخاب شاخص یا مدل مناسب باید بر اساس شرایط خاص حوزه آبخیز و اهداف مدیریتی موردنظر انجام شود تا بهترین نتایج حاصل شود. توصیه می‌شود پژوهش‌های آینده با استفاده از روش‌های آماری و پیاده‌سازی عملی این شاخص‌ها و مدل‌ها در مناطق مطالعاتی مختلف، کارایی و دقت آن‌ها را در شرایط واقعی ارزیابی کنند. این مطالعات می‌توانند به بهبود بیشتر این ابزارها و کاربردی‌تر شدن آن‌ها در مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست کمک کنند.

**واژه‌های کلیدی:** بوم‌سازگان، حفاظت از آبخیز، سیاست‌گذاری محیط‌زیست، مدیریت پایدار، هیدرولوژی

**استناد:** فتحی، الف، طالبی، ع، اختصاصی، م. ر؛ و مصفايي، ج. (۱۴۰۴). تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی

سلامت و پایداری آبخیز با تمرکز بر بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۱۸-۱.

### 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**

قراردادهاست. به نحوی که مفهوم سلامت بوم‌سازگان مطرح و روش‌های ارزیابی آن در طول زمان نیز پیشرفت کرده است (Suo *et al.*, 2008). مفهوم سلامت آبخیز، ریشه در علوم پزشکی دارد و برای شناسایی معیارهای بیماری زمین توسعه پیدا کرده است (Liu & Hao, 2017). این مفهوم اولین بار توسط Rapport و همکاران (۱۹۸۵) مطرح شد. بر این اساس سلامت بوم‌سازگان در واقع پتانسیل بوم‌سازگان در راستای حفظ و نگهداری ساختمان، خودتنظیمی و احیای مجدد توان خود پس از ایجاد تنش‌ها می‌باشد (Mirchooli & Sadeghi, 2019). ارزیابی سلامت بوم‌سازگان می‌تواند برای تعیین درجه تخریب سامانه و میزان تخریب ایجاد شده در اثر عوامل فیزیکی و یا فعالیت‌های بشر استفاده شود (Jia *et al.*, 2015). به این ترتیب هرگاه ساختار خودتنظیمی بوم‌سازگان به دلیل تأثیر اثر عوامل مختلف رو به تخریب باشد رفتار بوم‌سازگان برای انسان خطرزا خواهد بود؛ بنابراین حفظ سلامت بوم‌سازگان برای دستیابی به توسعه اقتصادی و اجتماعی پایدار ضروری است؛ زیرا بوم‌سازگان‌های طبیعی و آبخیزهای سالم خدمات ضروری را برای انسان و عملکردهای بوم‌شناختی ارائه می‌دهد (Hamel *et al.*, 2018; Ervinia *et al.*, 2019).

**۲- پایداری آبخیز**

پایداری وضعیتی است که در آن مطلوبیت و امکانات موجود در طول زمان کاهش نمی‌یابد و به توانایی بوم‌سازگان‌ها برای تداوم کارکرد و ارائه خدمات در آینده طولانی مربوط می‌شود بدون آنکه به تحلیل و یا بار بیش‌ازحد منابع منجر شود (Sadeghi *et al.*, 2016). یک حوزه آبخیز پایدار باید ساختار و عملکرد لازم برای حفظ کارکرد و ارائه خدمات خود درازمدت را داشته باشد. در ارزیابی پایداری حوزه آبخیز باید ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی به‌عنوان ابعاد اصلی و مؤثر بر پایداری در نظر گرفته شود. همچنین به ارتباط بین انسان و محیط‌زیست توجه کرد. به‌علاوه در

آبخیزها یک سامانه اجتماعی- بوم‌شناختی هستند (Gari *et al.*, 2018) که از واحدهای تعاملی متعددی مانند رودخانه‌ها، نهرها، تالاب‌ها، مخازن، سدها و انشعابات، همراه با شهرها و انسان‌ها تشکیل شده‌اند (Cai & Zhang, 2018). حوزه آبخیز به‌عنوان یک واحد برنامه‌ریزی و مدیریتی با لحاظ تمام ابعاد اقتصادی- اجتماعی، فیزیکی، بوم‌شناختی، فنی و سازمانی موردقبول جامعه علمی قرار گرفته است (Morrison *et al.*, 2018; Hazbavi *et al.*, 2017). آبخیزهای سالم، خدمات بوم‌شناختی بسیاری در زمینه‌های مختلف چون اجتماعی و رفاه اقتصادی ارائه می‌دهند، همچنین پایداری آبخیز چهار هدف مهم یعنی تنظیم رژیم جریان آب، حفظ و بهبود کیفیت آب، حفظ کیفیت بوم‌شناختی گیاهی و جانوری و منابع انرژی را مدنظر قرار می‌دهد (Mohamadi & Dastorani, 2017)، اما امروزه حوزه‌های آبخیز تحت تأثیر نامطلوب عوامل مختلف طبیعی و انسانی قرار گرفته‌اند. به‌نحوی که افزایش تقاضا و رقابت برای دستیابی به منابع طبیعی بیش‌تر و باکیفیت‌تر موجب ناپایداری اجتماعی و سیاسی شده که در نهایت عدم امنیت غذایی، فقر، نزاع و مهاجرت را در پی خواهد داشت (Cowie *et al.*, 2018). در این راستا، ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا بتوان ضمن مدیریت بهینه منابع، از تأثیرات منفی بر جامعه و محیط‌زیست جلوگیری کرد.

**بیان مسئله****۱- سلامت آبخیز**

مفهوم سلامت آبخیز عمدتاً برای ویژگی‌های زیستگاهی و هیدرو ژئومورفولوژیکی به‌کاربرده می‌شود. سلامت آبخیز به حفظ وضعیت عادی سامانه پیچیده آبخیز اشاره دارد (Mosaffaie *et al.*, 2021). افزایش جمعیت، جنگل‌زدایی و چرای مفرط باعث افزایش فرسایش خاک و هدررفت منابع آب‌و خاک شده و وضعیت سلامت حوزه‌های آبخیز را تحت تأثیر

چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF<sup>5</sup>) اشاره کرد که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود. برای شناسایی سلامت و پایداری آبخیزها، تعیین شاخص‌های مناسب و قابل اطمینان امری حیاتی است. این شاخص‌ها می‌توانند به‌عنوان راهنمای مهم در شناسایی سلامت و پایداری آبخیزها استفاده شوند. در حال حاضر، شاخص‌های مختلفی برای سنجش سلامت و پایداری و توسعه پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما هنوز اجماع کاملی در خصوص انتخاب و استفاده از آنها توسط تمامی صاحب‌نظران جهانی حاصل نشده است. این موضوع ممکن است به دلیل تنوع گسترده اهداف توسعه پایدار و شرایط محیطی و اجتماعی متفاوت در سطح جهان باشد. با این حال، در سال‌های اخیر، تلاش‌های فراوانی برای تعیین و استفاده از شاخص‌های مناسب برای اندازه‌گیری تحقق اهداف توسعه پایدار صورت گرفته است و بسیاری از این شاخص‌ها در گزارش‌ها و مطالعات مربوط به سلامت و پایداری استفاده می‌شود. این وضعیت نشان‌دهنده پیشرفت در جهت یافتن راه‌حل‌های مشترک برای سنجش پایداری است، اما همچنان نیاز به کار دقیق‌تر و هماهنگ‌تر در این زمینه وجود دارد. به‌طور کلی، توسعه و استفاده از شاخص‌های مناسب برای سنجش سلامت و پایداری یک چالش چندبعدی است که نیازمند همکاری بین کشورها و نهادهای بین‌المللی است. با توجه به اینکه حوزه‌های آبخیز مناسب‌ترین واحدها برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و خاک هستند و خدمات زیادی به موجودات زنده به‌ویژه انسان‌ها ارائه می‌دهند، لذا هدف از این پژوهش، معرفی روش‌هایی برای ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها است تا با استفاده از آن‌ها به سیاست‌گذاران، مدیران و تصمیم‌گیران در زمینه برنامه‌ریزی آینده و آمایش

ارزیابی پایداری حوزه آبخیز بایستی حفظ وضعیت سالم حوزه آبخیز در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی و حفظ منابع موجود در نسل‌های فعلی و آینده در طولانی‌مدت مدنظر قرار گیرد (Mirchooli, Sadeghi & 2019). تاکنون پژوهش‌های متعددی در نقاط مختلف جهان و از دیدگاه‌های متفاوت به ارزیابی سلامت و پایداری حوزه آبخیز پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال می‌توان به Sun و همکاران (۲۰۱۷)؛ Sadeghi و همکاران (۲۰۱۹)؛ Zhang و همکاران (۲۰۲۰) و Nikouei همکاران (۲۰۲۲) اشاره کرد.

### ۳- ضرورت وحدت رویه در انتخاب شاخص‌ها

وضعیت سلامت بوم‌سازگان‌های مختلف جهان روند رو به تخریبی را طی می‌کنند؛ بنابراین ارزیابی سلامت بوم‌سازگان‌ها برای دستیابی به پایداری آبخیزها و تضمین تداوم ارائه خدمات و کارکردهای آنها ضروری می‌باشد (Peng *et al.*, 2017)؛ لذا می‌بایست روش‌هایی توسعه یابند که بتوان بر اساس آنها درجه‌ی سلامت و سطح پایداری آبخیزها را تعیین نمود. در همین راستا، طی سال‌های گذشته شاخص‌ها، روش‌ها و رویکردهای متفاوتی برای ارزیابی پایداری متناسب با شرایط بوم‌شناختی، محیط‌زیستی، حاکمیتی و قابلیت دسترسی به داده‌های موردنیاز برای ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله این روش‌ها که از طریق ترکیب و تلفیق معیارها و شاخص‌های متناسب و مناسب که نمایانگر شرایط منطقه باشد و برای ارزیابی پایداری و سلامت زیست‌بوم‌ها ارائه شده است، می‌توان به شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI<sup>1</sup>)، شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI<sup>2</sup>)، مدل مفهومی فشار، وضعیت و پاسخ (PSR<sup>3</sup>)، مدل شاخص محور و مفهومی پایایی، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری (RRV<sup>4</sup>) و روش

4- Reliability-Resilience-Vulnerability  
5- Watershed Health Assessment Framework

1- Watershed Sustainability Index  
2- Enhanced Water Poverty Index  
3- Pressure-State-Response

سرزمین جهت افزایش سلامت و پایداری آبخیزها کمک نماید.

## بیان روش‌ها

ارزیابی سلامت و پایداری آبخیزها به دلیل پیچیدگی‌های سامانه‌های اجتماعی-بوم‌شناختی و تأثیرات گسترده عوامل انسانی و طبیعی بر این سامانه‌ها، نیازمند رویکردهای چندبعدی و شاخص‌های متنوعی است. در این تحقیق، برای ارزیابی دقیق و جامع سلامت آبخیزها، اقدام به معرفی چندین شاخص و مدل مختلف شده است. این شاخص‌ها و مدل‌ها هر یک ابعاد متفاوتی از پایداری و سلامت آبخیزها را مورد بررسی قرار می‌دهند.

### ۱- شاخص پایداری (WSI)

این شاخص، شاخص پایداری حوضه می‌باشد که نخستین بار توسط چاوز و آلپاز در سال ۲۰۰۷ استفاده شد که ۴ بخش هیدرولوژی، محیط‌زیست، زندگی و سیاست را در برمی‌گیرد و ارزیابی یکپارچه‌ای را از وضعیت فعلی مدیریت یک حوزه آبخیز برای یک

دوره‌ی خاص از زمان را فراهم می‌کند. هرکدام از ۴ بخش این شاخص دارای سه مؤلفه فشار (فشار ناشی از فعالیت‌های انسانی وارد شده بر حوضه)، وضعیت (ارزیابی کیفیت حوضه در سال پایه‌ی مطالعه و همین‌طور کیفیت و کمیت منابع طبیعی) و پاسخ (پاسخ به بررسی سطح جامعه از تمایل برای رسیدگی به مشکلات محیط‌زیستی در حوضه) می‌باشند (Chaves & Alipaz, 2007; Catano et al., 2009).

شاخص WSI به‌طور خاص برای حوزه آبخیز به وجود آمده و حداکثر برای مساحت ۲۵۰۰ کیلومتر مربع مناسب است و با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$WSI = \frac{H+E+L+P}{4} \quad (1)$$

در این رابطه WSI، شاخص پایداری حوضه، H زیرشاخص هیدرولوژیکی، E زیرشاخص محیط‌زیست، L زیرشاخص زندگی، P زیرشاخص سیاست است. وزن همه‌ی شاخص بین صفر تا یک می‌باشد (Chavez & Alipaz., 2007).

طبقه‌بندی نهایی WSI در سه سطح می‌باشد (جدول ۱). در جدول ۲ نیز زیرشاخص‌ها، به همراه پارامترهای فشار، وضعیت و پاسخ آورده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی سطوح پایداری حوزه آبخیز با WSI

Table 1- Classification of watershed sustainability levels with WSI

مقدار WSI	سطح پایداری آبخیز
0.5 > WSI	پایین
0.8 > WSI > 0.5	متوسط
WSI > 0.8	بالا

جدول ۲- خلاصه‌ای از شاخص WSI و پارامترهای فشار، وضعیت و پاسخ

Table 2- Summary of WSI index and PSR parameters

پارامتر پاسخ	پارامتر وضعیت	پارامتر فشار	زیرشاخص
بهبود در بهره‌وری مصرف آب	آب در دسترس در حوزه (شاخص فالکن‌مارک)	تغییرات در سرانه آب دسترسی	هیدرولوژی
بهبود در تصفیه یا دفع فاضلاب	متوسط بلندمدت BOD <sub>5</sub> حوضه	تغییرات BOD <sub>5</sub>	محیط‌زیست
تکامل در مناطق حفاظت‌شده حوضه	درصد مساحت پوشش گیاهی طبیعی	E.P.I حوضه	زندگی
تکامل در شاخص توسعه انسانی در حوضه	HDI حوضه	تغییرات HDI (درآمد) در حوضه	سیاست
تکامل در هزینه‌های مدیریت منابع آب در حوضه	ظرفیت نهادی در مدیریت یکپارچه منابع آب	تغییرات HDI (تحصیلات) در حوضه	

۲- شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI) شاخص اصلاح‌شده فقر آبی شامل ۵ مؤلفه‌ی منابع (R<sup>6</sup>)، ظرفیت (C<sup>7</sup>)، دسترسی (A<sup>8</sup>)، استفاده (U<sup>9</sup>)، و محیط‌زیست (E<sup>10</sup>) می‌باشد (Giné Garriga & Perez Fogute, 2010)؛ که هرکدام از این مؤلفه‌ها دارای سه پارامتر فشار (P<sup>11</sup>)، وضعیت (S<sup>12</sup>) و پاسخ (R<sup>13</sup>) هستند (جدول ۳) (Chaves & Alipaz, 2007; Catano et al., 2009).

جدول ۳- خلاصه‌ای از شاخص EWPI و پارامترهای فشار، وضعیت و پاسخ

Table 3- Summary of EWPI index and PSR parameters

پارامتر پاسخ	پارامتر وضعیت	پارامتر فشار	معیار
HDI - زیرشاخص آموزش	دسترسی به آب در حوضه	درصد رشد جمعیت حوضه	جمعیت
کافی بودن ظرفیت ذخیره‌سازی آب	سرانه آب در دسترس در حوضه	درصد تغییرات در سرانه آب	آب
بهبود در بودجه مربوط به زیرساخت‌های بخش آب	درصد جمعیت شهرستان با دسترسی به آب سالم	درصد تغییرات در دسترسی به آب سالم	امنیت آب
بهبود در بودجه بخش بهداشت	درصدی از جمعیت که به بهداشت دسترسی دارند.	درصد تغییرات در دسترسی به بهداشت	بهداشت
سطح آموزش سرپرست خانوار	میزان کنونی HDI	درصد تغییرات HDI	اجتماعی
سرانه درآمد یک فرد در روز به دلار	درصد نرخ بیکاری	درصد جمعیت فعال اقتصادی	اقتصادی
بهره‌وری استفاده از آب خانگی	سرانه مصرف روزانه آب خانگی شهرستان به لیتر	درصد تغییرات در سرانه مصرف آب خانگی	خانگی
بهبود در بهره‌وری آب کشاورزی	نسبت زمین‌های زیر کشت زراعی به کل زمین‌های قابل کشت زراعی	درصد تغییرات در سرانه مصرف آب بخش کشاورزی	کشاورزی
رشد و پیشرفت در فعالیت‌های حفاظتی حوزه آبخیز	درصد پوشش گیاهی طبیعی	فشار محیط‌زیستی	محیط‌زیست

مقدار عددی به دست آمده برای هر جزء بین صفر تا ۲۰ بوده جمع آنها با یکدیگر مقدار نهایی شاخص EWPI هر منطقه را نشان می‌دهد، که عددی بین صفر تا صد می‌باشد

$$EWPI = R + A + C + U + E \quad (2)$$

جدول ۴- طبقه‌بندی وضعیت شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (Lawrence et al., 2002)

Table 4- Status classification of EWPI (Lawrence et al., 2002)

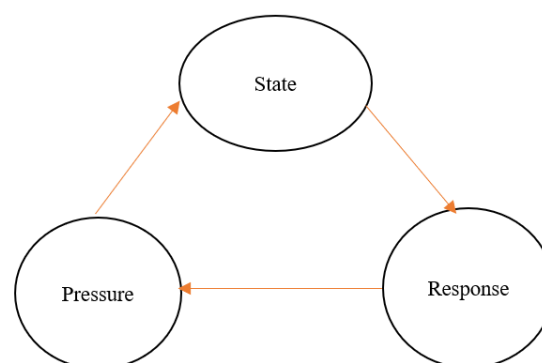
مقدار شاخص	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
وضعیت WPI	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم

- 10- Environment
- 11- Pressure
- 12- State
- 13- Response

- 6- Resources
- 7- Capacity
- 8- Access
- 9- Use

### ۳- رویکرد PSR

مدل مفهومی PSR برای اولین بار توسط Friends و Raport در سال ۱۹۷۹ پیشنهاد شد و در سال ۱۹۹۲ پیرو توافق نمایندگان کشورهای هلند، نروژ و ایالات متحده و سایر کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD<sup>14</sup>) در خصوص عملکرد محیط‌زیست کشورها مطرح و تهیه شد. این چارچوب بر اساس مفهوم علیت ارائه شده است. بر اساس مفاهیم حاکم بر آن هرگونه فعالیت انسانی بر زیست‌بوم فشار (P) وارد کرده و کمیت و کیفیت منابع طبیعی آن را در وضعیت و حالت (S) خاص قرار می‌دهد؛ بنابراین زیست‌بوم در برابر فشار وارده، یک نوع پاسخ یا عکس‌العمل (R) نشان خواهد داد (Hazbavi & Sadeghi, 2016). نحوه ارتباط بین شاخص‌های مدل PSR در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایی از ارتباط بین شاخص‌های مورد استفاده در

مدل مفهومی PSR (Niemeijer & Groot, 2008)

Figure 1- A view of the relationship between the indicators used in the PSR conceptual model (Niemeijer & Groot, 2008)

### ۴- مدل مفهومی RRV

در ابتدا مدل RRV در زمینه مدیریت سامانه‌های ذخیره و مخازن منابع آب توسط Hashimoto و همکاران (۱۹۸۲) مطرح و به‌طور موفقیت‌آمیزی برای

تحلیل میزان موفقیت مخازن برای ذخیره آب مورد نیاز به کار برده شد. این مدل بر پایه سه شاخص پایایی، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری بنا نهاده شده است. این سه شاخص به‌صورت ترکیبی به‌عنوان شاخص‌های مهم اندازه‌گیری کارایی یک سامانه محسوب می‌شوند (Sadeghi & Hazbavi, 2016).

شاخص‌های پایایی (Rel)، به‌طور کلی شاخص پایایی، احتمال قرارگیری سامانه در وضعیت ایمن (بدون خطر شکست) اطلاق می‌شود. شاخص انعطاف‌پذیری (Res)، احتمال بازپایی یک سامانه از حالت خطر شکست به حالت ایمن در یک‌زمان معین را در نظر می‌گیرد. شاخص مزبور نشان می‌دهد وقتی که حالت شکست اتفاق می‌افتد، یک سامانه با چه سرعتی خود را از حالت شکست بازپایی می‌کند. شاخص آسیب‌پذیری (Vul)، یک واحد اندازه‌گیری از شدت وضعیت خطر شکست است. به عبارتی یک معیار اندازه‌گیری از شدت آسیب ایجاد شده توسط یک واقعه شکست محسوب می‌شود (Sadeghi & Hazbavi, 2016).

### ۵- روش چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF)

جهت ارزیابی سلامت حوضه با روش سامانه‌ای، فرایندهای محیط‌زیستی به پنج جز مختلف تقسیم‌بندی شدند. این اجزا که رویکرد ثابتی را برای بررسی روابط پیچیده مؤثر بر سلامت حوضه فراهم می‌کنند عبارت‌اند از: (۱) وضعیت زیستی<sup>۱۵</sup>، (۲) پیوستگی<sup>۱۶</sup> (۳) ژئومورفولوژی<sup>۱۷</sup> (۴) هیدرولوژی<sup>۱۸</sup> و (۵) کیفیت آب<sup>۱۹</sup>.

پیوستگی از طریق تهیه نقشه موقعیت سازه‌های موجود در منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در هر حوضه هرچقدر تراکم سازه بیشتر باشد، امتیاز سلامت کمتر

17- Geomorphology

18- Hydrology

19- Water Quality

14- Organization for Economic Cooperation and Development

15- Biological condition

16- Continuity

### محاسبه شاخص سلامت کل حوضه طبق شاخص

#### WHAF

به منظور محاسبه WHAF، ابتدا باید همه معیارها با روش استانداردسازی فاصله‌ای<sup>۲۲</sup> بر اساس امتیاز صفر تا ۱۰۰ استانداردسازی شوند. معیارها به دو گروه منفعت یا هزینه تقسیم شده و از روابط ۳ (سلامت) و ۴ (اثر معکوس) متناسب با هر گروه برای استانداردسازی مقادیر بهره گرفته شد (MDNR, 2021).

$$(۳) \quad \text{حداقل امتیاز} - \text{امتیاز هر معیار} = \frac{\text{حداقل امتیاز} - \text{حداکثر امتیاز}}{\text{حداکثر امتیاز}} = \text{امتیاز استاندارد}$$

$$(۴) \quad \text{حداقل امتیاز} - \text{امتیاز هر معیار} = 100 - \frac{\text{حداقل امتیاز} - \text{حداکثر امتیاز}}{\text{حداکثر امتیاز}}$$

در نهایت بر اساس مطالعات انجام شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا (EPA<sup>23</sup>)، طبق جدول ۵ طبقه‌بندی نهایی شاخص WHAF مشخص خواهد شد (EPA, 2012).

جدول ۵- طبقه‌بندی وضعیت سلامت حوضه بر اساس شاخص WHAF

Table 5- Classification of the field's health status based on the WHAF index

مقدار WHAF	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20
وضعیت سلامت حوضه	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف

### بحث

دستیابی مناسب و اصولی به خدمات زیست‌بوم، خصوصیات، عملکردها و یا فرآیندهای بوم‌شناختی که مرتبط با رفاه انسان است، تحت تأثیر عملکرد صحیح زیست‌بوم‌های مختلف قرار دارد (ME, 2005; Jahandari et al., 2022). به همین جهت، ارزیابی توانمندی یک سامانه در راستای تأمین عملکردهای مورد انتظار وابسته به سلامت و پایداری آن است. با توجه به اینکه سلامت و پایداری حوزه آبخیز ساختار و عملکرد منطقه را نشان می‌دهد این مفهوم یکی از

اساسی‌ترین مفاهیم در ارزیابی و مدیریت جامع مناطق است (Peng et al., 2017) که نشان‌دهنده تعادل بین عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی است که برای حفظ منابع آب و حفظ سلامت بوم‌سازگان‌ها ضروری است. لذا نتایج حاصل از ارزیابی آن علاوه بر ارائه سامانه هشدار زودهنگام تخریب محیط‌زیست می‌تواند در راستای تعیین علت تنش و مشکل موجود در سامانه آبخیز به مدیران و سیاست‌گذاران نیز کمک کند (Li et al., 2014; Jia et al., 2015). برای تعیین پایداری و سلامت، روش‌ها، معیارها و شاخص‌های

22- Interval standardisation

23- Environmental Protection Agency

20- Menhenik Diversity Index

21- Margalef

ابزار مفید برای انتقال اطلاعات برای مخاطبان و تصمیم‌گیران است (Debels et al., 2009). در واقع شاخص پایداری با ارائه اطلاعات کامل برای تصمیم‌گیرندگان در حفاظت از محیط‌زیست و رفاه انسان کمک می‌کند (Lee & Huang, 2007). همچنین برای ارزیابی تکامل حوضه با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه صنعت و همین‌طور برای مقایسه حوضه‌های یک منطقه مفید می‌باشد. از محدودیت‌های این شاخص می‌توان به مشکلات در جمع‌آوری و دستیابی اطلاعات در سطح حوزه آبخیز اشاره کرد. Cortes و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی طی یک برنامه ۴ ساله مقدار شاخص WSI را برای حوضه‌ای در کشور شیلی ۰/۶۷ به دست آوردند. نتایج آنها نشان داد که کمترین و بیشترین امتیاز به ترتیب مربوط به زیرشاخص هیدرولوژی (۰/۵) و سیاست‌گذاری (۰/۶۸) بوده است. در جدول ۶، نتایج پژوهش Heirany و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از شاخص WSI در حوزه آبخیز توتلی در استان خراسان شمالی آورده شده است که نشان از سطح پایداری متوسط این حوضه طبق WSI را دارد.

کلیدی از مجموعه عوامل انسانی، اقلیمی، زمین‌شناسی، خاکی و پوشش گیاهی نمایانگر شرایط کنونی سلامت و پایداری معرفی و توسعه داده شده است. به همین منظور شاخص‌ها و مدل‌های مفهومی مختلفی برای تبیین این معیارها و شاخص‌ها در قالب یک چارچوب مشخص ارائه شده‌اند (Hazbavi & Sadeghi, 2016). شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI) یک شاخص جامع بوده و پتانسیل زیادی برای مدیریت اهداف محیط‌زیستی، اقتصادی - اجتماعی با تجزیه و تحلیل پایداری حوزه دارد؛ این شاخص می‌تواند به ذینفعان و مدیران مختلف در برنامه‌ریزی منابع موجود در حوضه و تصمیم‌گیران برای توسعه پایداری کمک کند. توسعه پایدار نه تنها باعث تحریک رشد اقتصادی می‌شود بلکه باعث ترویج و توسعه عادلانه ثروت، اولویت‌بندی مسائل محیط‌زیستی و توانمندسازی مردم به دور از حاشیه راندن آن‌ها می‌شود (UNDP, 1994). این شاخص نه تنها به عنوان یک چارچوب مقایسه‌ای است بلکه یک ابزار برای شناسایی تنگناها برای رسیدن به پایداری حوضه نیز می‌باشد. از مزایای شاخص WSI، سادگی، قابلیت انعطاف و سازگاری آن است. همچنین این شاخص یک

جدول ۶- امتیاز نهایی شاخص پایداری حوزه آبخیز (WSI) در حوزه آبخیز توتلی در استان خراسان شمالی (Heirany et al., 2022)

میانگین	پاسخ (R)	وضعیت (S)	فشار (P)	پارامتر معیار
0.58	0.00	0.75	1	هیدرولوژی (H)
0.58	0.00	1	0.75	محیط‌زیست (E)
0.66	0.75	0.75	0.5	زندگی (L)
0.66	1	1	0.00	سیاست‌گذاری (P)
WSI = 0.62	0.35	0.85	0.65	میانگین

پیروی می‌کند و جمعاً متشکل از پنج مؤلفه دسترسی (A)، منابع (R)، ظرفیت (C)، استفاده (U) و محیط‌زیست (E) است؛ که یک چارچوب فشار-وضعیت - پاسخ به آن الحاق شده است. این شاخص می‌کوشد تا ارتباط بین کمبود آب و جنبه‌های وابسته

شاخص اصلاح‌شده فقر آبی (EWPI) گستردگی‌های مختلفی در مسائل محیط‌زیست، اقتصادی و اجتماعی دارد و برای ارزیابی سطح حوضه مفید است. شاخص اصلاح‌شده فقر آب از چارچوب اصلی شاخص فقر آب که توسط Sullivan و همکاران (۲۰۰۳) معرفی شده

به‌طور گسترده‌ای در مسائل محیط‌زیستی مورد استفاده قرار گرفته است همچنین در بخش منابع آب نیز در کمک به مدیریت آبخیزداری با موفقیت به اجرا درآمده است. Koirala و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از شاخص فقر آبی به ارزیابی تنش آبی در حوضه رودخانه کوشی در کشور نپال پرداختند. بعد از محاسبه ۵ زیرشاخص کلیدی این شاخص، نتایج نشان داد که میزان شاخص فقر آبی از ۴۹/۷۵ تا ۶۹/۲۹ متغیر بود. از نظر میانگین نیز مقدار شاخص فقر آبی در این حوضه ۵۴/۴ به دست آمد که نشان‌دهنده وضعیت متوسط تنش آبی در این حوضه بوده است. نتایج مطالعه Sharifzadegan و همکاران (۲۰۱۷) با عنوان شناسایی موانع توسعه با استفاده از شاخص فقر آبی در استان قزوین در جدول ۷ ارائه شده است.

به مسائل اقتصادی و اجتماعی آن را نشان دهد (Sullivan et al., 2003). شاخص فقر آبی رابطه بین رفاه یک خانوار را با میزان دسترسی به آب نشان می‌دهد و بیان‌کننده میزان تأثیرات کمبود آب روی جوامع انسانی می‌باشد. چنین شاخصی این امکان را به وجود می‌آورد که کشورها و جوامع مختلف را از لحاظ فاکتورهای فیزیکی و اجتماعی - اقتصادی مرتبط با کمبود آب رتبه‌بندی کرد. از آنجایی که جامعیت و پویایی مدیریت منابع آب بر همگان مبرهن و واضح است، به نظر می‌رسد با قرار گرفتن معیارهای پنج‌گانه‌ی شاخص توسعه‌یافته فقر آب در یک زنجیره علت و معلولی بنام رویکرد فشار - وضعیت - پاسخ، روابط بین پارامترها و بازخوردهای بین آنها برای مدیران، تصمیم‌گیران و ذینفعان آشکارتر شود (Gine & Garriga & Perez Fogute, 2010). این مدل مفهومی

جدول ۷- نتایج محاسبات شاخص فقر آبی در شهرستان‌های استان قزوین (Sharifzadegan et al., 2017)

Table 7- Calculation results of WPI in the cities of Qazvin province (Sharifzadegan et al., 2017)

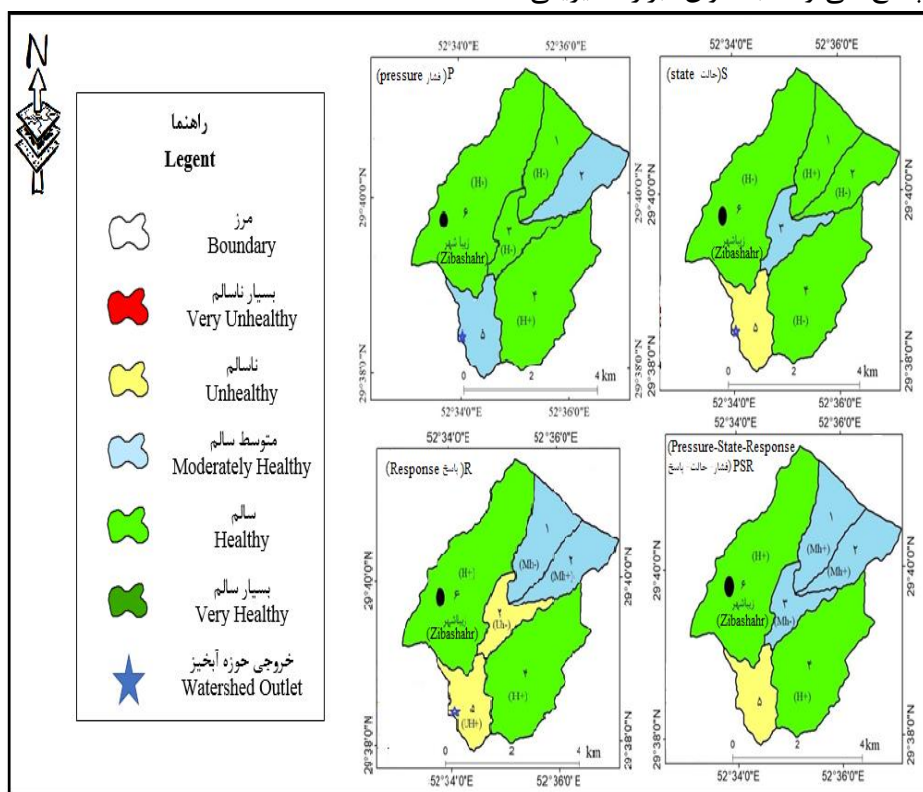
شهرستان	منابع	دسترسی	ظرفیت	مصرف	محیط‌زیست	فقر آبی
قزوین	14.96	4.77	11.86	18.81	10.31	60.72
البرز	6.33	20.00	0.90	5.67	17.50	60.39
آبیک	4.88	9.24	15.32	7.65	12.13	49.23
تاکستان	2.72	14.76	6.42	9.65	4.16	37.71
بویین‌زهرا	2.76	11.42	6.28	9.57	3.79	33.82
آوج	16.06	3.33	5.46	5.15	8.94	38.94

مستقیم و غیرمستقیم ناشی از فعالیت‌های انسانی و طبیعی است که باعث تغییرات محیط می‌شوند. درحالی‌که شاخص حالت وضعیت و حالت فیزیکی، شیمیایی و زیستی محیط طبیعی به‌علاوه وضعیت سلامت و رفاه انسان و درنهایت هرگونه پاسخ یا تغییر در اثر اعمال فشارهای وارده را نشان می‌دهد (Hazbavi et al., 2018). در این راستا Sadeghi و Hazbavi (۲۰۱۶)، طی یک مطالعه مروری سلامت آبخیز، استفاده از مدل PSR برای ارزیابی سلامت زیست‌بوم آبخیز بر اساس مهم‌ترین شاخص‌های بوم‌شناختی توسط مدیران، برنامه‌ریزان سیاست‌گذاران حوزه منابع طبیعی به‌عنوان ابزار مدیریتی مطمئن و

رویکرد شاخص محور PSR با ساماندهی معیارها در قالب شاخص‌های جامع فشار، حالت و پاسخ توانسته است سلامت بوم‌سازگان را با در نظر گرفتن تمامی شرایط سامانه تعیین کند (Hazbavi et al., 2018). مدل مفهومی PSR یک رویکرد مفهومی و شامل سامانه ارتباطی بین سه شاخص فشار، حالت و پاسخ است و به‌صورت عمده به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی سامانه‌های انسانی و طبیعی به کار می‌رود. در واقع این مدل از ارتباطات علت و معلولی و به‌منظور ارتباط دادن عامل‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی استفاده می‌کند (Hazbavi et al., 2020). منظور از شاخص فشار برای ارزیابی سلامت آبخیز شامل نیروهای محرکه

مطمئنی برای شناسایی و دسته‌بندی مشکلات و مسائل حوزه‌های آبخیز استفاده شود. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز و اثر سازه‌های آبخیزداری موجود در منطقه بر سلامت آبخیز با محوریت سیلاب با استفاده از مدل PSR پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص سلامت با مقدار  $0/53$  در وضعیت متوسط قرار داشت (شکل ۲). تغییرات مکانی متغیرهای محاسبه‌شده نشان داد که اراضی رهاشده، زمان تمرکز، گستره تحت فعالیت‌های نظامی، سطح سازندهای حساس به فرسایش، تراکم بالای شبکه زه‌کشی، تراکم جاده، پتانسیل تولید رواناب و رسوب بالا و وسعت مناطق مسکونی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت سلامت آبخیز دروازه قرآن محسوب می‌شوند.

مناسب برای بررسی مسائل حاکم بر حوزه‌های آبخیز کشور توصیه نمودند. Liu و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی در Tianjin چین به مطالعه جامع منبع الگوهای امنیت بوم‌شناسی از جنبه‌های عملکردی و چشم‌انداز پرداختند. ابتدا از مدل PSR برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیست تحت تأثیر عوامل اجتماعی-اقتصادی و طبیعی استفاده شد. در مرحله دوم، ساختار بوم‌شناسی با ترکیب تحلیل الگوی فضایی ریخت‌شناسی و شاخص اتصال منظر ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مساحت کل منابع بوم‌شناسی شناسایی‌شده توسط رویکرد PSR در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب  $16/08$ ،  $18/88$  و  $15/28$  درصد از کل منطقه را تشکیل می‌دهد. در نهایت بررسی‌ها نشان داد که رویکرد PSR بر اساس معیارهای فشار، حالت و پاسخ می‌تواند به‌عنوان ابزار مدیریتی



شکل ۲- پهنه‌بندی شاخص‌های فشار، وضعیت، پاسخ و PSR در حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز با در نظر گرفتن سازه‌های آبخیزداری (Sadeghi et al., 2022)

Figure 2- Zoning of Pressure, State, Response and PSR indices in the watershed of Shiraz Darwazeh Quran, considering the watershed structures (Sadeghi et al., 2022)

که بتواند نیازهای منطقی کاربران خود را تأمین نماید. هرچند شاخص‌های مبتنی بر خطر پایایی،

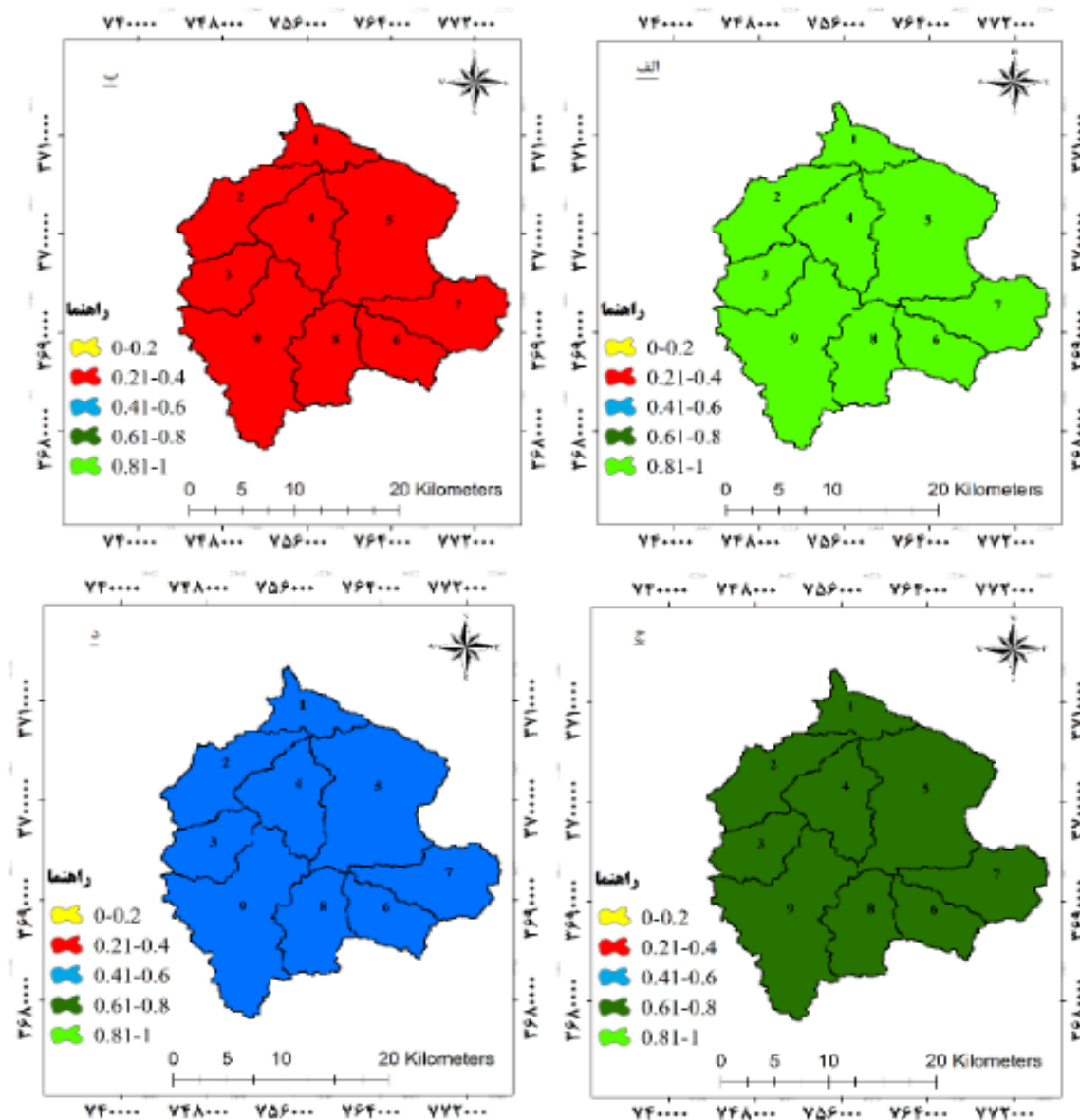
فلسفه و اساس مدل RRV بر این اصل استوار است که هر سامانه زمانی در حالت رضایت‌بخش قرار دارد

وضعیت موجود تأثیرگذار بوده است و در صورت عدم توجه به آن تأثیر زیان‌باری در پی خواهد داشت. چارچوب ارزیابی سلامت حوزه آبخیز (WHAF) در سال ۲۰۱۶ توسط اداره منابع ایالت Minnesota واقع در غرب میانه آمریکا برای ارزیابی وضعیت سلامت ۸۱ حوزه آبخیز اصلی و بیش از ۱۰ هزار زیرحوزه آبخیز آن ایالت تبیین، طراحی و توسعه داده شد. به‌منظور شناخت سامانه آبخیز در یک روش نظام‌مند و سازگار، فرآیندهای بوم‌شناختی به پنج عنصر مختلف شامل (۱) وضعیت زیستی (۲) پیوستگی (۳) ژئومرفولوژی (۴) هیدرولوژی و (۵) کیفیت آب تقسیم‌شده‌اند. درنهایت با امتیازبندی و جمع‌آوری امتیازات شاخص‌ها، وضعیت کلی سلامت آبخیز مشخص می‌شود. روش WHAF با به کار بستن یک راهکار سازگار، بررسی جامع از سلامت بوم‌شناختی آبخیزها را فراهم می‌کند. به‌وسیله آن می‌توان شرایط حاکم بر بوم‌سازگان آبخیز را بررسی کرد و تعادل زیستی را اندازه‌گیری نمود. WHAF به‌عنوان یک ابزار مؤثر در مطالعات بوم‌شناسی و حفاظت منابع طبیعی شناخته‌شده است. همچنین بکارگیری این شاخص موجب شناخت فرآیندها و فعل‌وانفعالات ایجادکننده پاسخ‌های سالم و ناسالم در آبخیز می‌شود. Shahedi و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با در نظر گرفتن پنج بخش ژئومرفولوژی، کیفیت آب، هیدرولوژی، وضعیت زیستی (غناهی گونه‌ای) و پیوستگی هیدرولوژیکی به بررسی سلامت حوزه آبخیز تالار با استفاده از شاخص WHAF، پرداختند. نتایج نشان داد از نظر شاخص حساسیت به فرسایش، زیرحوضه‌های ۲۳ و ۳۴ به‌ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز را داشتند. در مورد حساسیت‌پذیری اقلیم، زیرحوضه ۵ دارای بیشترین اختلاف میان بارش و تبخیر- تعرق و اقلیم مرطوب‌تر نسبت به سایر زیرحوضه‌ها را داشته است. در بخش کیفیت آب، اغلب زیرحوضه‌ها، در محدوده خوب و تعداد دوازده زیرحوضه دیگر، در محدوده قابل‌قبول تا متوسط قرار گرفتند. با محاسبه امتیاز سلامت معیار هیدرولوژی، نتایج نشان

انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری مورد‌استفاده در مدل RRV به‌عنوان شاخص‌های احتمالاتی قابل‌توجه هیدرولوژیست‌ها (Kjeldsen & Rosbjerg, 2004) و بوم‌شناس‌ها (Petchey & Gaston, 2009) بوده است، اما در زمینه ارزیابی سلامت آبخیز بسیار کم مورد‌توجه قرار گرفته است. به‌همین علت و به دلیل نوظهور بودن این مدل در زمینه ارزیابی سلامت آبخیز، مطالعات محدودی در این زمینه صورت گرفته است. برای کاربرد مدل RRV معیارهای متعددی بر اساس احتمالات مورد ارزیابی قرار گرفته و نهایتاً سلامت آبخیز بر اساس وضعیت ترکیب کلی آنها سنجیده می‌شود. Bhere و Reddy (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی در مناطق مختلف هندوستان برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، با توجه به تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی پرداختند. در این مطالعه، از رویکرد RRV برای تحلیل پایداری ذخایر آب و از داده‌های ماهواره‌ای GRACE برای ارزیابی ذخایر آب زمینی، رطوبت خاک، رواناب سطحی و ذوب برف در حوزه‌های رودخانه‌ای هند بهره‌گیری شده است. نتایج نشان داد که ذخایر آب زیرزمینی در مناطق پنجاب و هاریانا در حال کاهش است، درحالی‌که ذوب برف در هیمالیا افزایش یافته و رواناب سطحی در جنوب هند کاهش یافته است. این یافته‌ها نشان داد که دسترسی به آب در سراسر حوضه‌های این کشور روند کاهشی داشته است. Chemni و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیر خشکسالی بر تغییرات مکانی-زمانی سلامت حوزه آبخیز افین در استان خراسان جنوبی را با استفاده از مدل مفهومی RRV بررسی کردند. امتیاز شاخص سلامت این حوضه ۰/۴۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت متوسط سلامت طبق مدل RRV است. در شکل ۳، نتایج این پژوهش ارائه‌شده است. نتایج تحلیل بارندگی منطقه حاکی از آن است که با توجه به ثبات نسبی بارندگی، تأثیر دخالت‌های انسانی و تشدید عوامل تهدیدکننده سلامت آبخیز، بیش‌ازپیش بر

سلامت را داشته است. در مجموع تعداد ۲۴ زیرحوضه با امتیاز بین ۶۰ - ۴۰ در طبقه متوسط و بقیه زیرحوضه‌ها (تعداد ۱۳ زیرحوضه) با امتیاز بین ۸۰ - ۶۰ دارای سلامت زیاد هستند.

داد زیرحوضه ۳ دارای حداکثر پوشش گیاهی چندساله و زیرحوضه ۳۴ فاقد هرگونه پوشش گیاهی چندساله بوده است. نتایج محاسبات مربوط به غنای گونه‌ای نیز نشان داد که زیرحوضه ۳۴ دارای حداکثر غنای گونه‌ای و در شاخص پیوستگی، زیرحوضه ۲ کمترین میزان



شکل ۳- تغییرات مکانی شاخص‌های پایایی (الف)، تاب‌آوری (ب)، آسیب‌پذیری (ج) و وضعیت کلی سلامت (د) آبخیز افین (Chemni et al., 2023)

Figure 3- Spatial changes of indicators of reliability (a), resilience (b), vulnerability (c) and overall health status (d) of Efin watershed (Chemni et al., 2023)

طبیعی کمک کند. این شاخص‌ها ارزش ویژه‌ای برای حوزه آبخیز ارائه می‌دهند و ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی، اجتماعی و سایر عوامل اساسی تأثیرگذار بر

استفاده از شاخص‌های سلامت و پایداری آبخیز به‌عنوان یک روش می‌تواند به کسب اطلاعات مهمی درباره تخریب ناشی از فعالیت‌های انسانی یا عوامل

سلامت آبخیز را منعکس می‌کنند. در زمینه سلامت و پایداری مطالعات متعددی در حوضه‌های مختلف جهان با استفاده از روش‌ها و مدل‌های ذکر شده صورت گرفته که نتایج آن‌ها در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- مطالعات انجام‌گرفته در زمینه ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز

Table 8- Studies conducted in the field Watershed health and sustainability assessment

منبع Reference	شاخص یا مدل Index or Model	مقدار Value	حوضه Watershed
Catano <i>et al.</i> , (2009)	WSI	0.74	Reventazon
Firdaus <i>et al.</i> , (2009)	WSI	0.59	Batang Merao watershed, Indonesia
Chamani <i>et al.</i> , (2021)	RRV	0.45	Chalous Watershed
Yang <i>et al.</i> , (2015)	PSR	0.59	Yellow River Delta
Sun <i>et al.</i> , (2017)	PSR	0.48 – 0.59	Yangtze and Amazon river basins
Zhang <i>et al.</i> , (2012)	WPI	26.3-69.9	Shiyang River Basin

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به معرفی برخی از روش‌ها، شاخص‌ها و مدل‌های مفهومی ارزیابی سلامت و پایداری آبخیز شامل WSI، EWPI، مدل مفهومی PSR، مدل مفهومی RRV و شاخص WHAF پرداخته شد. وضعیت و شرایط آبخیز برای جامعه و تمامی موجودات آن بسیار حائز اهمیت است. آبخیزهای سالم فواید و خدمات بسیاری ارائه داده و کیفیت زندگی جامعه را ارتقاء می‌دهند. با توجه به این‌که میزان و کیفیت خدمات آبخیزها مستقیماً با سلامت و پایداری آن‌ها مرتبط است، حفظ و بهبود سلامت و پایداری آبخیزها از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین، توجه به تغییرات مکانی و زمانی سلامت و پایداری آبخیزها، شناسایی و برنامه‌ریزی جهت مدیریت و اصلاح آنها برای جلوگیری از ورود آسیب‌ها ضروری است. استفاده از شاخص‌ها، روش‌ها و مدل‌های مفهومی برای ارزیابی سلامت و پایداری حوزه‌های آبخیز، به‌عنوان ابزار تحلیلی و مدیریتی موردتوجه کاربران آب و ذینفعان قرار می‌گیرد. این روش‌ها امکان اندازه‌گیری و پیش‌بینی وضعیت حوزه‌های آبخیز را فراهم می‌کنند. با توجه به ارزیابی و مرور شاخص‌ها و مدل‌های مختلف برای سنجش سلامت و پایداری حوزه‌های آبخیز، این تحقیق

نشان می‌دهد که این ابزارها نقش حیاتی در مدیریت بهینه منابع آب و خاک ایفا می‌کنند. هرچند این شاخص‌ها و مدل‌ها با محدودیت‌هایی مانند عدم پوشش کامل جنبه‌های محیط‌زیستی، کمبود داده‌های دقیق و چالش‌هایی در پاسخگویی به تغییرات زمانی و مکانی مواجه هستند، اما مزایای آنها ازجمله ارائه پشتوانه علمی برای تصمیم‌گیری، توجه به رفاه انسانی و ارزیابی جامع ارزش‌های بوم‌شناختی، این کاستی‌ها را تا حد زیادی جبران می‌کند. استفاده از این شاخص‌ها به تصمیم‌گیران، محققان و سایر ذینفعان این امکان را می‌دهد تا با بهره‌گیری از داده‌ها و اطلاعات معتبر، عملکرد و پایداری حوزه‌های آبخیز را بهبود بخشند و به توسعه پایدار کمک کنند. از این‌رو، انتخاب و به‌کارگیری صحیح این شاخص‌ها برای ارزیابی و مدیریت منابع آبخیز نه تنها ضروری، بلکه حیاتی است تا بتوان به اهداف بلندمدت حفاظت از محیط‌زیست و رفاه اجتماعی دست یافت. این تحقیق بر اهمیت به‌کارگیری یک رویکرد جامع و چندبعدی تأکید دارد که بتواند از طریق ترکیب این شاخص‌ها، به درک عمیق‌تری از پایداری و سلامت آبخیزها دست یابد و زمینه‌ساز تصمیمات مدیریتی مؤثرتر و آینده‌نگرانانه‌تر شود.

## References

- Bhere, S., & Reddy, M. J. (2022). Assessment of Reliability, Resilience, and Vulnerability (RRV) of terrestrial water storage using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) for Indian river basins. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 100851. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100851>
- Cai, Y., & Zhang, L. (2018). Multi-scale ecological indicators for supporting sustainable watershed management. *Ecological Indicators*, 92, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.079>
- Catano, N., Marchand, M., Staley, S., & Wang, Y. (2009). Development and Validation of the Watershed Sustainability Index for the Watershed of the REVENTAZÓN River. *Report Prepared for the Omission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River, Costa Rica*, 4-31.
- Chamani, R., Sadeghi, S. H., Vafakhah, M., & Naghdi, M. (2022). Reliability, resilience, and vulnerability of Chalous Watershed based on drought index. *Watershed Engineering and Management*, 14(1), 65-75. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.352600.1855> (In Persian)
- Chamani, R., Vafakhah, M., & Sadeghi, S.H.R. (2023). Effect of drought on temporal-spatial changes of the Efin Watershed health. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 1-12. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.355697.1917> (In Persian)
- Chaves, H. M., & Alipaz, S. (2007). An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. *Water Resources Management*, 21, 883-895. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2>
- Cortes, A.E., Oyarzun, R., Kretschmer, N., Chaves, H., Soto, G., Soto, M., Amezago, J., Oyarzu, J., Otting, T., Senoret, M. & Maturana, H. (2012). *Application of the watershed sustainability index to the Elqui River Basin, North-Central Chile*, *ObrasProyectos* 12, 57-69.
- Cowie, A. L., Orr, B. J., Sanchez, V. M. C., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., ... & Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, 79, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- Debels, P., Szlafsztein, C., Aldunce, P., Neri, C., Carvajal, Y., Quintero-Angel, M., Celis, A., Bezanilla, A., & Martínez, D. (2009). IUPA: a tool for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability. *Natural Hazards*, 50, 211-233. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9333-4>
- EPA. (2012). Identifying and Protecting Healthy Watersheds: Concepts, Assessments, and Management Approaches. *Environmental Protection Agency (EPA)* 841-B-11-002.
- Ervinia, A., Huang, J., Huang, Y., & Lin, J. (2019). Coupled effects of climate variability and land use pattern on surface water quality: An elasticity perspective and watershed health indicators. *Science of the Total Environment*, 693, 133592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133592>
- Firdaus, R., Nakagoshi, N., & Idris, A. (2014). sustainability assessment of humid tropical watershed: a case of Batang Merao watershed, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 722-731.
- Friends, A., & Raport, D. (1979). Towards a comprehensive framework for environment statistics: stress-response approach. *Statistics Canada, Ottawa, Canada*, 428-429. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.086>
- Gari, S.R., Guerrero, C.E.O., Bryann, A., Icely, J.D., & Newton, A. (2018). A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council. *Water Science*, 32(2), 318-337. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.06.001>
- Giné Garriga, R., & Pérez Foguet, A. (2010). *The enhanced water poverty index: targeting the water poor at different scales*. In WISA 2010 Biennial Conference.
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Célleri, R., Chandler, D., Chun, K.P., Destouni, G., Jacobs, S., Jasechko, S., & Johnson, M. (2018). Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in

- ecohydrology. *Ecohydrology*, 11(3), e1921. <https://doi.org/10.1002/eco.1921>
- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., & Loucks, D.P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18(1), 14-20. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00014>
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S. H. (2016). Watershed Health (Part two): Pressure, State and Response Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(15), 25-30. (In Persian)
- Hazbavi, Z., Baartman, J. E., Nunes, J. P., Keesstra, S. D., & Sadeghi, S. H. (2018). Changeability of reliability, resilience and vulnerability indicators with respect to drought patterns. *Ecological Indicators*, 87, 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.054>
- Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Baartman, J.E., Gholamalifard, M., & Sadeghi, S.H. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93, 781-790. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.078>
- Hazbavi, Z., Parchami, N., Alaei, N., & Babaei, L. (2020). Assessment and analysis of the Koozeh Topraghi Watershed health status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(3), 121-142. (In Persian)
- Heirany, A.R., Behzadfar, M., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2022). Ecological Sustainability Assessment in the Tutli Watershed, North Khorasan Province. *Journal of Geography, Urban and Regional Studies*, 11(42), 152-169. <https://doi.org/10.22126/ges.2021.6965.2457> (In Persian)
- Jahandari, J., Hejazi, R., Jozi, S. A., & Moradi, A. (2022). Impacts of urban expansion on spatio-temporal patterns of carbon storage ecosystem services in Bandar Abbas Watershed using InVEST software. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 91-106. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11069.1097> (In Persian)
- Jia, H., Pan, D., & Zhang, W. (2015). Health assessment of wetland ecosystems in the Heilongjiang River Basin, China. *Wetlands*, 35, 1185-1200. <https://doi.org/10.1007/s13157-015-0705-8>
- Kjeldsen, T. R., & Rosbjerg, D. (2004). Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems/Choix d'estimateurs de fiabilité, de résilience et de vulnérabilité pour les analyses de risque de systèmes de ressources en eau. *Hydrological Sciences Journal*, 49(5), 755-767. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.755.55136>
- Koirala, S., Fang, Y., Dahal, N.M., Zhang, C., Pandey, B., & Shrestha, S. (2020). Application of water poverty index (WPI) in spatial analysis of water stress in Koshi River Basin, Nepal. *Sustainability*, 12(2), 727. <https://doi.org/10.3390/su12020727>
- Lawrence, P. R., Meigh, J., & Sullivan, C. (2002). The water poverty index: an international comparison (pp. 1-25). Keele, Staffordshire: *Department of Economics*, Keele University.
- Lee, Y.J., & Huang, C.M. (2007). Sustainability index for Taipei. *Environmental Impact Assessment Review*, 27(6), 505-521. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.12.005>
- Li, Z., Xu, D., & Guo, X. (2014). Remote sensing of ecosystem health: opportunities, challenges, and future perspectives. *Sensors*, 14(11), 21117-21139. <https://doi.org/10.3390/s141121117>
- Liu, D., & Hao, S. (2017). Ecosystem health assessment at county-scale using the pressure-state-response framework on the Loess Plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1), 2. <https://doi.org/10.3390/ijerph14010002>
- Liu, X., Zhang, Z., Li, M., Fu, Y., & Hui, Y. (2022). Ecological source identification based on the PSR model framework and structural features: a case study in Tianjin, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10117-2>
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being*. Washington DC: Island Press.
- Minnesota Department of Natural Resources (MDNR). (2021). <https://gisdata.mn.gov/dataset/env-watershed-health-assessment>.

- Mirchooli, F., & Sadeghi, S. H. (2019). Comparative Analysis of Watershed Health and Sustainability. *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(2), 163-168. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i2.69177> (In Persian)
- Mohamadi, T., & Dastorani, M. T. (2017). The Evaluation of the Sustainability of Watershed Using Watershed Sustainability Index. *Hydrogeomorphology*, 4(10), 41-64. <https://doi.org/20.1001.1.23833254.1396.4.10.3.2> (In Persian)
- Morrison, K., Bunch, M. J., & Hallström, L. (2017). *Public health at the watershed scale*. In Water Policy and Governance in Canada (pp. 337-356). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42806-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42806-2_18)
- Mosaffaie, J., Jam, A. S., Tabatabaei, M. R., & Kousari, M. R. (2021). Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. *Land Use Policy*, 100, 104911. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104911>
- Niemeijer, D., & De Groot, R. S. (2008). A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators*, 8(1), 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.11.012>
- Nikouei, H., Azari, M., & Dastorani, M. T. (2022). The effect of climate change on the Fariman dam watershed health using VOR model. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 107-121. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11685.1156> (In Persian)
- Peng, J., Liu, Y., Li, T., & Wu, J. (2017). Regional ecosystem health response to rural land use change: A case study in Lijiang City, China. *Ecological Indicators*, 72, 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.024>
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2009). Effects on Ecosystem Resilience of Biodiversity, Extinctions and the Structure of Regional Species Pools. *Theoretical Ecology*, 2(3), 177-187. <https://doi.org/10.1007/s12080-009-0041-9>
- Rapport, D.J. (1979). Towards a comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach. *Statistics Canada*, 11-510, Ottawa.
- Rapport, D. J., Regier, H. A., & Hutchinson, T. C. (1985). Ecosystem behavior under stress. *The American Naturalist*, 125(5), 617-640.
- Sadeghi, S. H., & Hazbavi, Z. (2016). Watershed Health (Part one): Reliability, Resilience and Vulnerability Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(14), 39-42. (In Persian)
- Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Zonation of health dynamism for the Shazand Watershed based on low and high flow discharges. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 589-608. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Saaduddin, A., Hizbavi, Z., & Asadi Nelivan, A. (2016). Watershed health and sustainability. *Report of the zero phase of the national comprehensive management plan of the country's watersheds*. (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Tavosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh, H., Akbari Imamzadeh, F., Bahlekeh, M., Khurshid Sokhangouy, F., & Chamani, R. (2022). Evaluation and variability of flood-oriented health of shiraz Darwazeh Quran Watershed from Watershed Management Structures. *Journal of Water and Soil*, 36(5), 561-577. <https://doi.org/20.1001.1.20084757.1401.36.5.3.3> (In Persian)
- Shahedi, K., Mohseni, B., & Moumeni, B. (2022). Investigation of Talar Watershed Health using Watershed Health Assessment Framework on GIS environment. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 15(1), 20-45. <https://doi.org/10.30495/girs.2022.691305> (In Persian)
- Sharifzadegan, M. H., Nedaie Tousi, S., & Jamali, F. (2017). Identifying Regional Development Limitations: Application of Water Poverty Index to Qazvin Province of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 28(1), 151-170. <https://doi.org/10.22108/gep.2017.98243.0> (In Persian)
- Sullivan, C.A., Meigh, J.R., & Giacomello, A.M. (2003). The water poverty index: development and application at the community scale. *In Natural Resources*

- Forum*, 27(3), 189-199.  
<https://doi.org/10.1111/1477-8947.00054>
- Sun, R., Yao, P., Wang, W., Yue, B., & Liu, G. (2017). Assessment of wetland ecosystem health in the Yangtze and Amazon River Basins. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3), 81.  
<https://doi.org/10.3390/ijgi6030081>
- Suo, A. N., Xiong, Y. C., Wang, T. M., Yue, D. X., & Ge, J. P. (2008). Ecosystem health assessment of the Jinghe River watershed on the Huangtu Plateau. *EcoHealth*, 5, 127-136.  
<https://doi.org/10.1007/s10393-008-0167-z>
- UNDP. (1994). Informe sobre el Desarrollo Humano. *Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo y Fondo Cultura Economica FCE, México.*
- Yang, W., Jin, Y., Sun, T., & Li, M. (2015). Effects of seashore reclamation activities on Wetlands ecosystem, a case study in yellow river Delta. In E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, *The Hague, the Netherlands*, 28, 1-3.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.01.013>
- Zhang, S., Xiang, M., Xu, Z., Wang, L., & Zhang, C. (2020). Evaluation of water cycle health status based on a cloud model. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118850.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118850>
- Zhang, R., Duan, Z., Tan, M., & Chen, X. (2012). The assessment of water stress with the Water Poverty Index in the Shiyang River Basin in China. *Environmental Earth Sciences*, 67, 2155-2160.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-012-1655-6>

## Variability in health zoning due to applying different methods for averaging pressure, state, and response indices in the Baladeh-e-Noor watershed, Iran

Seyed Hamidreza Sadeghi\*, Elnaz Ghabelnezam, Forough Ahmadinejad Baghban, Mostafa Zabihi Silabi, Reza Chamani

Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor 46417-76489, Mazandaran Province, Iran

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

(Received: 16 July 2024

Revised: 13 August 2024

Accepted: 06 September 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Since the beginning of the industrial revolution, human activities have had a significant impact on climate change and other environmental issues. Based on this, the occurrence of various events caused by human activities, such as land use changes, increased soil erosion, reduced groundwater levels, the expansion of residential and industrial areas in floodplains, and similar cases have increased the destruction of watersheds day by day. The destruction and confusion of watersheds has led to a decrease in the provision of expected services from watersheds, and in other words, a decrease in ecosystem services. Therefore, the correct evaluation and at the same time the variability of watershed health due to various factors is a vital step in the management and exploitation of ecosystems and showing how the watershed functions. Therefore, in this research, an attempt has been made to evaluate the health status of Balde Noor watershed using problem-oriented and accessible variables. Also, in order to evaluate the effect of different averages on the spatial distribution of watershed health, the health index was calculated using arithmetic, weighted, geometric, summarized, and homogenized averages in Belde Noor watershed in Mazandaran province.

**Materials and methods:** In this research, based on the conditions of the region and the analysis and refinement of the ecological health and security of the region, 36 key criteria were identified from the set of natural, climatic, human and hydrological factors in the form of pressure (P), state (S) and response (R) indicators. The studied watershed was divided into 18 subwatersheds using SWAT software. In the following, in order to eliminate the variables with internal correlation and in order to avoid errors in the calculations in each sub-watershed, the variables with internal correlation were removed using the variance inflation factor test. After screening and normalizing the selected criteria in exploring the conceptual approach of pressure-situation-response (PSR), arithmetic, geometric, weighted, summarized and composite averages were used. The main and most important central index that shows the balance point and the center of gravity of the society is the average of a society. Among the types of averages, the arithmetic average always has the highest value in terms of quantity, and the average of the coefficients always has the lowest value, and if all the data are the same (equal), all three averages are equal to each other, so the results of different averages are checked and compared with the results. As a result of the field visit, the index of ecological health and security was evaluated.

**Results and Discussion:** Examining the results showed that the ecological security was determined to be 0.58. The health status of the Baladeh-e-Noor Watershed was assessed using various methods, including arithmetic, geometric, weighted, summarized, and harmony means, resulting in values of 0.63, 0.62, 0.62, 0.63, and 0.60, indicating a relatively healthy watershed. When prioritizing sub-watersheds, it was found that sub-watershed 9 consistently ranked last across all methods, while sub-watershed 17 emerged as the top performer in arithmetic, weighted, and summarized averages, and sub-watershed 18 took the lead in geometric and harmonic means. The research results indicated that the geometric mean is more usable than other averaging methods due to its ability to reduce the impact of large numbers and balance the mean.

**Conclusions:** Spatial analysis of the calculated variables indicates that good pasture, population density, and livestock units were the most significant factors influencing the health status of the Baladeh-e-Noor Watershed. The results also revealed spatial variations in health status throughout the watershed, with no significant differences observed when different means were applied. These findings provide a roadmap for future management and conservation efforts within the Baladeh-e-Noor Watershed, inspiring hope for improving its health. To address these findings, it is essential to implement tailored and scientifically sound programs to enhance health outcomes across the watershed. Emphasizing nature-based solutions, cooperative management, and integrated approaches will be crucial in improving the Baladeh-e-Noor Watershed's health. The watershed health index emerges as a valuable tool for evaluating the provision of watershed services based on their capacity. Given the Baladeh-e-Noor Watershed's favorable attributes, such as tourist attractions and a suitable climate, future encroachment, population growth, and expansion of residential areas are inevitable. Therefore, developing and implementing a forward-looking vision for the watershed is imperative, leveraging diverse management strategies, low-impact development practices, and environmental change analysis. This approach will focus on maintaining the health of existing sub-watersheds and transforming unhealthy sub-watersheds into thriving and healthy ecosystems.

**Keywords:** Ecosystem health, Integrated watershed assessment, Participatory management, PSR

Citation: Sadeghi, S.H., Ghabelnezam, E., Ahmadinejad Baghban, F., Zabihi Silabi, M., & Chamani, R. (2025). Variability in health zoning due to applying different methods for averaging pressure, state, and response indices in the Baladeh-e-Noor watershed, Iran. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 19-36. doi: 10.22034/iwm.2024.2035677.1163

### 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>).



## تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های محاسبه میانگین فشار، وضعیت و شاخص‌های پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور

سیدحمیدرضا صادقی\*، ائلناز قابل‌نظام، فروغ احمدی‌نژاد باغبان، مصطفی ذبیحی سیلابی، رضا چمنی

گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۶

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** از آغاز انقلاب صنعتی، فعالیت‌های انسانی تأثیر بسزایی بر تغییرات آب و هوایی و سایر مسائل محیط‌زیستی داشته است. بر این اساس، بروز رخداد‌های مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله تغییرات کاربری اراضی، افزایش فرسایش خاک، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، گسترش مناطق مسکونی و صنعتی در پهنه‌های سیلابی و موارد مشابه روزبه‌روز بر تخریب حوزه‌های آبخیز افزوده است. تخریب و برهم‌آشتگی آبخیزها سبب کاهش ارائه خدمات متوقع از آبخیزها و به عبارتی کاهش خدمات بوم‌سازگان را در پی داشته است. از این‌رو ارزیابی صحیح و در عین حال تغییرپذیری سلامت حوزه‌های آبخیز در اثر عوامل مختلف، گام اساسی حیاتی در مدیریت و بهره‌برداری از بوم‌سازگان و نمایش چگونگی عملکرد آبخیزهاست. لذا در این پژوهش سعی شده است وضعیت سلامت حوزه آبخیز بلده نور با استفاده از متغیرهای مشکل‌محور و قابل دسترس مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین در راستای ارزیابی اثر میانگین‌های مختلف بر پراکنش مکانی سلامت آبخیز، شاخص سلامت با استفاده از میانگین‌های حسابی، وزنی، هندسی، خلاصه‌شده و هم‌ساز در حوزه آبخیز بلده نور در استان مازندران محاسبه شد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق، بر اساس شرایط منطقه و تحلیل و پالایش سلامت و امنیت بوم‌شناسی منطقه، ۳۶ معیار کلیدی از مجموعه عوامل طبیعی، اقلیمی، انسانی و هیدرولوژی در قالب شاخص‌های فشار (P)، حالت (S) و پاسخ (R) شناسایی شد. حوزه آبخیز مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار SWAT به ۱۸ زیرآبخیز تقسیم‌بندی شد. در ادامه برای حذف متغیرهای دارای همبستگی درونی و به منظور جلوگیری از بروز خطا در محاسبات در هر زیرآبخیز، با استفاده از آزمون عامل تورم و واریانس متغیرهای دارای همبستگی درونی حذف شدند. پس از غربال و نرمال‌سازی معیارهای منتخب در کنکاش رویکرد مفهومی فشار-وضعیت-پاسخ (PSR)، میانگین‌های حسابی، هندسی، وزنی، خلاصه‌شده و هم‌ساز استفاده شد. اصلی‌ترین و مهم‌ترین شاخص مرکزی که نشان دهنده نقطه تعادل و مرکز ثقل جامعه است، میانگین یک جامعه است. در میان انواع میانگین‌ها، میانگین حسابی از نظر کمیت همیشه بیشترین مقدار و میانگین هم‌ساز همیشه کمترین مقدار را دارد و اگر تمام داده‌ها یکسان (برابر) باشند، هر سه میانگین با هم برابر می‌شوند بنابراین نتایج میانگین‌های مختلف بررسی و در مقایسه با نتایج حاصل از بازدید میدانی، شاخص سلامت و امنیت بوم‌شناختی ارزیابی شد.

**نتایج و بحث:** بررسی نتایج نشان داد که امنیت بوم‌شناختی در حوزه آبخیز برابر با ۰/۵۸ به‌دست آمد و وضعیت سلامت حوزه آبخیز بلده نور نیز با میانگین‌های حسابی، هندسی، وزنی، خلاصه‌شده و هم‌ساز در طبقه نسبتاً سالم با مقدار عددی به‌ترتیب ۰/۶۳، ۰/۶۲، ۰/۶۳، ۰/۶۳ و ۰/۶۰ قرار گرفت. از لحاظ اولویت‌بندی زیرآبخیزها نیز، زیرآبخیز ۹ در تمامی میانگین‌ها در اولویت آخر قرار گرفت و زیرآبخیز ۱۷ به ترتیب در میانگین‌های حسابی، وزنی و خلاصه‌شده و زیرآبخیز ۱۸ در میانگین‌های هندسی و هم‌ساز در اولویت اول قرار گرفتند. همانطور که نتایج پژوهش نشان داد میانگین هندسی به دلیل کاهش اثر اعداد بزرگ و متعادل کردن میانگین، قابلیت استفاده بیشتری نسبت به سایر میانگین‌ها دارد.

**نتیجه‌گیری:** تغییرات مکانی متغیرهای محاسبه‌شده نشان داد که مرتع خوب به‌عنوان مؤثرترین عامل مثبت و تراکم جمعیت و واحد دامی نیز به‌عنوان مؤثرترین عوامل منفی بر وضعیت سلامت آبخیز بلده نور محسوب می‌شوند. همچنین نتایج بیان‌گر تغییرات مکانی وضعیت سلامت در کل حوزه آبخیز مورد مطالعه و عدم اختلاف معنی‌دار حاصل از کاربست میانگین‌های مختلف بوده است؛ بنابراین، برای بهبود سلامت در درجات مختلف باید برنامه‌های مختلف علمی و سازگار به‌کار برده شوند. پیشنهاد می‌شود که راهکارهای مبتنی بر طبیعت، مدیریت مشارکتی و مدیریت سازگار و یکپارچه برای بهبود سلامت آبخیز بلده نور در اولویت قرار گیرند. شاخص سلامت آبخیز می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل موجودیت خدمات آبخیز متناسب با ظرفیت حمل آن‌ها نیز در نظر گرفته شود. همچنین با توجه به وضعیت مناسب حوزه آبخیز بلده نور به لحاظ جاذبه‌های گردشگری و برخورداری از آب و هوای مناسب، دخل و تصرف بیشتر در منطقه و گسترش مناطق مسکونی و افزایش جمعیت خوش‌نشین در آینده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. لذا پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌های مختلف مدیریتی، توسعه کم‌پیامد و تحلیل روند تغییرات محیطی چشم‌انداز آینده این آبخیز با تکیه بر حفظ زیرآبخیزهای سالم و بهبود زیرآبخیزهای ناسالم به سالم طراحی و اجرایی شود.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی یکپارچه حوزه آبخیز، سلامت بوم‌سازگان، مدیریت مشارکتی، PSR

**استناد:** صادقی، س.ح.، قابل‌نظام، الف.، احمدی‌نژاد باغبان، ف.، ذبیحی سیلابی، م.؛ و چمنی، ر. (۱۴۰۴). تغییرپذیری پهنه‌بندی سلامت با استفاده از روش‌های محاسبه میانگین فشار، وضعیت و شاخص‌های پاسخ در حوزه آبخیز بلده نور. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۳۶-۱۹.

### 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 قابل دسترس است.

## مقدمه

2015; Liang *et al.*, 2016; Sadeghi *et al.*, 2019; Ahn & Kim, 2019).

رویکرد ارزیابی سلامت بوم‌سازگان (EHA)<sup>۷</sup> برای اولین بار توسط Rapport در سال ۱۹۸۹ معرفی شد. این رویکرد از یک روش ارزیابی کمی در بوم‌سازگان‌های مختلف استفاده می‌کند و پس از معرفی شاخص سلامت بوم‌سازگان عمومی<sup>۸</sup> (EHI) توسط Costanza و Mageau (۱۹۹۹) استفاده گسترده‌ای پیدا کرده است. ارزیابی سلامت حوزه آبخیز گام اولیه حیاتی در مدیریت و بهره‌برداری بوم‌سازگان است، زیرا هشدارهای اولیه در مورد تخریب منابع طبیعی را ارائه می‌دهد و عوامل تخریب را شناسایی می‌کند (Rapport *et al.*, 2009). مفهوم سلامت آبخیز به حفظ وضعیت "عادی" سامانه سازگار و پیچیده آبخیز اشاره دارد. آبخیزهای سالم نقش کلیدی در ارائه خدمات بوم‌سازگان دارند (Alilou *et al.*, 2019). بر این اساس آگاهی از سلامت آبخیز یکی از اساسی‌ترین بخش‌ها در مدیریت پایدار و جامع منابع آبخیز است. چرا که آبخیز به‌صورت یک بوم‌سازگان ترکیبی عمل می‌کند و هم‌زمان چشم‌انداز طبیعی، فعالیت‌های اقتصادی و توسعه اجتماعی را درگیر می‌کند (Tsai *et al.*, 2021)؛ بنابراین حفظ سلامت بوم‌سازگان برای ابداع روش‌های جدید به‌منظور ارزیابی و نظارت بر منابع محیطی، ارائه راه‌حل‌های عملی برای رفع اختلالات در آبخیزها ضروری است (Sadeghi *et al.*, 2023).

تاکنون مطالعات متعددی با هدف ارزیابی سلامت آبخیز با در نظر گرفتن معیارهای متنوع در دنیا انجام شده است. برای نمونه در خارج از ایران Ahn و Kim (۲۰۱۹) به ارزیابی سلامت، آسیب‌پذیری و تاب‌آوری آبخیز رودخانه Han در کشور کره جنوبی با مدل SWAT پرداخته و درنهایت به این نتیجه رسیدند که

تأثیر فعالیت‌های انسانی تنها از آغاز انقلاب صنعتی در مقیاس جهانی گسترش پیدا کرده است که منجر به بروز تغییراتی در جو و تغییر اقلیم زمین شده است. یافته‌های هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم<sup>۱</sup> IPCC نشان می‌دهد که کشورهای در حال توسعه، در مقابل تغییرات اقلیم آسیب‌پذیرتر خواهند بود و ممکن است به‌دلایل مختلفی پیامدهای گسترده‌تری داشته باشند. عمدتاً به‌دلیل این‌که اقتصاد این کشورها به کشاورزی وابسته است، وسعت زیادی از کشورهای در حال توسعه، به شدت مستعد بیابان‌زایی و خشکسالی است که متأسفانه در نتیجه این تغییرات، حوزه‌های آبخیز در حال تخریب بوده یا دارای پتانسیل تخریب می‌باشند (Hazbavi & Sadeghi, 2017). حوزه‌های آبخیز، سامانه‌های اجتماعی-بوم‌شناختی<sup>۲</sup> (SESs) هستند که در آن انسان‌ها و موجودات دیگر با محیط فیزیکی و یکدیگر تعامل دارند (Gari *et al.*, 2018). این سامانه‌های پاسخ هیدرولوژیکی<sup>۳</sup>، مناسب‌ترین واحدها برای تجزیه و تحلیل سطوح مختلف اقتصادی-اجتماعی، منابع آب و برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی هستند (Wang *et al.*, 2016)؛ بنابراین آژانس حفاظت از محیط‌زیست<sup>۴</sup> (EPA) کشورها را به سمت ارزیابی‌های یکپارچه حوزه آبخیز<sup>۵</sup> سوق داده است. زیرا بهره‌برداری‌های غیراصولی، کمبود آب، تخریب زمین، بیابان‌زایی، مخاطرات طبیعی و فرآیندهای تکاملی، مشکلات جدی در پایداری درازمدت برای سلامت آبخیز<sup>۶</sup> کشورهای در حال توسعه به‌خصوص ایران ایجاد می‌کند که منجر به کاهش تنوع زیستی، کاهش بهره‌وری، خطرات طبیعی، افزایش آسیب‌پذیری و ظهور مسائل محیط‌زیستی می‌شود (Mosaffaie, )

5- Integrated watershed assessments

6- Watershed Health

7- Ecosystem Health Assessment (EHA)

8- Ecosystem Health Index (EHI)

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

2- Social-Ecological Systems (SESs)

3- Hydrological response systems

4- Environmental Protection Agency (EPA)

۶۷ زیرآبخیز از ۲۳۷ زیرآبخیز دارای اولویت‌های بازسازی با پتانسیل بالاست. در ایران نیز از سال ۱۳۹۵ مطالعات مرتبط با ارزیابی سلامت آبخیز مورد توجه قرار گرفت و به ادبیات و علوم مرتبط با منابع طبیعی افزوده شد. در همین ارتباط، Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ<sup>۹</sup> (PSR) به ارزیابی و تحلیل وضعیت سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی در استان اردبیل پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که این آبخیز از لحاظ سلامت در وضعیت متوسط با مقدار عددی ۰/۴۱ قرار دارد. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی سلامت آبخیز دروازه قرآن شیراز و اثر سازه‌های آبخیزداری با محوریت سیلاب بر سلامت آبخیز با استفاده از رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سازه‌های آبخیزداری موجود به سبب محدودیت تعداد و پوشش مکانی محدود، علی‌رغم تأثیر بر عوامل مؤثر بر سلامت زیرحوزه آبخیز، نتوانسته است بر بهبود شرایط کلی حوزه آبخیز تأثیر محسوسی داشته باشد. Ghabelnezam و همکاران (۲۰۲۳) به منظور ارزیابی سلامت حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی در استان اردبیل، رویکرد PSR-Fuzzy را توسعه دادند. این محققان برای این کار از ۱۳ معیار مختلف استفاده کردند. همچنین برای پهنه‌بندی سلامت آبخیز نیز از شش عملگر PRODUCT، SUM، OR، AND، گامای ۰/۹ و گامای ۰/۵ استفاده کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که PRODUCT به‌عنوان کارآمدترین عمل‌گر در تهیه نقشه سلامت آبخیز است. همچنین نتایج بیان‌گر تغییرات مکانی وضعیت سلامت در کل حوزه آبخیز مورد مطالعه بوده است. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۳) به پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز و امنیت بوم‌شناختی در ۳۰ حوزه آبخیز بزرگ و درجه دوم در سراسر ایران با استفاده از رویکرد PSR پرداختند. ایشان ۴۴ متغیر مشکل‌محور، تأثیرگذار و در دسترس در بخش‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، انسانی و طبیعی در سطح ملی را معرفی کرده است (Ran et al., 2021). با این حال، یافتن

شناسایی و مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص‌های P، S و R به ترتیب از ۰/۴۹ تا ۰/۶۹، ۰/۴۲ تا ۰/۸۲ و ۰/۴۰ تا ۰/۹۴ متغیر بوده و شاخص‌های سلامت و امنیت بوم‌شناختی به ترتیب از ۰/۴۶ تا ۰/۹۶ و ۰/۳۰ تا ۰/۸۹ متغیر است. همچنین میانگین وزنی P، S و R نیز به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۶۲ و ۰/۵۷ بوده است. Chamani و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به رویکرد فشار-وضعیت-واکنش، با تأکید خاص بر مسائل مربوط به سیل در منطقه حوزه آبخیز شارقنج در خراسان جنوبی پرداختند. ایشان ابتدا ۲۱ معیار شامل عوامل هیدرولوژیکی، انسانی، طبیعی و اقلیمی را انتخاب نمودند. این متغیرها بر اساس آزمون‌های هم‌خطی و در دسترس بودن داده‌ها، پالایش و سپس به شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ طبقه‌بندی شدند تا شاخص‌های سلامت و امنیت بوم‌شناختی مرتبط در سطح زیرآبخیز را تعیین کنند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که حوزه آبخیز به شدت مستعد وقوع سیل است و وضعیت سلامت و امنیت بوم‌شناختی آن در درجه اول تحت تأثیر خسارات ناشی از سیل مانند تخریب منازل مسکونی و باغات در سال‌های اخیر است. همچنین مطالعات متعدد دیگری (برای نمونه Hazbavi et al., 2017; Ebrahimi et al., 2018; Sadeghi et al., 2018; Sadeghi et al., 2019; Ebrahimi Gatgash & Sadeghi, 2023) نیز با هدف ارزیابی سلامت حوزه آبخیز در ایران انجام شده است. با مرور منابع می‌توان جمع‌بندی نمود که رویکردهای  $ReIResV_{ul}$ <sup>۱۰</sup>،  $VOR_{es}$ <sup>۱۱</sup>، DPSIR<sup>۱۲</sup> و PSR نسبت به سایر رویکردها و رویکردها در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز بیشتر استفاده شده است. همچنین با مرور منابع و ادبیات موجود مشخص شد در حوزه آبخیز بلده شهرستان نور مطالعات ارزیابی سلامت حوزه آبخیز انجام نشده است. علی‌رغم پیچیدگی حوزه آبخیز، ارزیابی سلامت آن به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تعیین سلامت سامانه‌های بوم‌شناختی معرفی شده است (Ran et al., 2021). با این حال، یافتن

11- Vigor-Organization-Rresilince (VOR<sub>es</sub>)

12 - Driving Force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)

9- Pressure -State -Response

10- Reliability-Resilience-Vulnerability ( $ReIResV_{ul}$ )

صادقی و همکاران

موقعیت منطقه مورد مطالعه را در کشور و استان مازندران نشان می‌دهد.

### رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ (PSR)

رویکرد PSR یک رویکرد علمی و پایدار است که بیانگر ارتباط بین عوامل فشار-وضعیت-پاسخ حوزه آبخیز است. این رویکرد با توجه به عوامل مختلف بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی که بوم‌سازگان‌های آبخیز را تشکیل می‌دهند، می‌تواند نقش بسیار مؤثری در مدیریت پایدار و مؤثر این آبخیزها داشته باشد. مفهوم اصلی PSR شامل یک رویکرد ساختاریافته برای اتصال سه عنصر فشار، وضعیت و پاسخ از طریق یک سامانه ارتباطی است و استفاده گسترده از آن به‌عنوان یک ابزار برای مدل‌سازی سامانه‌های انسانی و طبیعی انجام می‌شود. این سامانه، از پیوندهای موجود میان روابط علت و معلولی برای برقراری ارتباط با عامل‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی بهره می‌گیرد (Hazbavi *et al.*, 2020). هرگونه فعالیت انسانی و شرایط ذاتی منطقه، که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامت بوم‌سازگان حوزه آبخیز فشار وارد کرده و سبب برهم خوردن تعادل در خدمات متوقع از آبخیز شود؛ در مفهوم شاخص فشار قرار می‌گیرد. شاخص وضعیت نیز بیانگر وضعیت و حالت کلی بوم‌سازگان با توجه به شرایط ایجاد شده تحت مؤلفه‌های فشار است. در واقع وضعیت خاص کیفی و کمی منابع موجود و وضعیت کلی حوزه آبخیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. از سویی حوزه آبخیز، زمانی که با یک فشار یا مجموعه‌ای از فشارها مواجه می‌شود، یک پاسخ خاص یا سلسله‌مراتبی از پاسخ‌ها را از خود نشان می‌دهد (Sadeghi *et al.*, 2023; Chamani *et al.*, 2024).

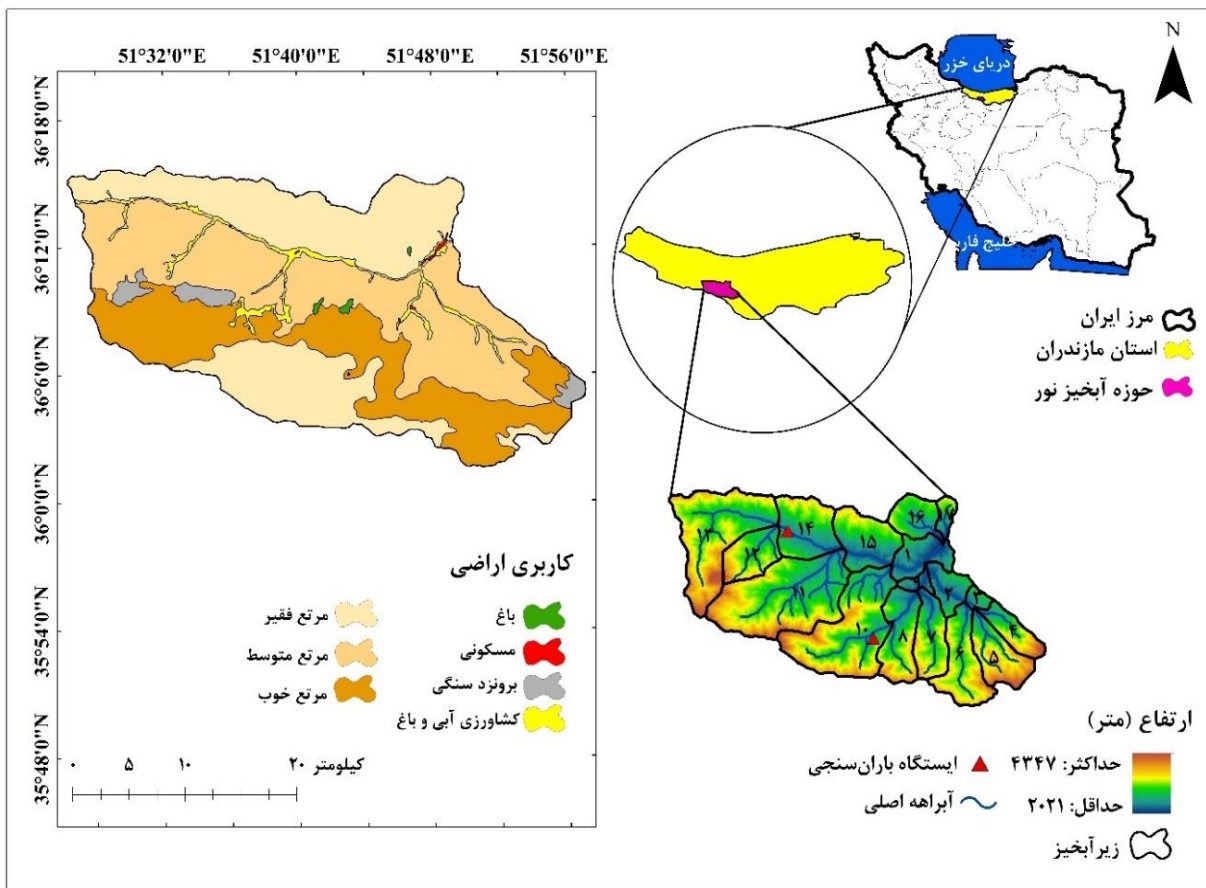
در پژوهش حاضر ابتدا با مفهوم‌سازی مشکلات موجود در حوزه آبخیز بلده نور بر اساس مطالعات و پژوهش‌های پیشین عامل‌های مرتبط در زمینه مشکلات موجود انتخاب و طبقه‌بندی شد. سپس برای هر کدام از عامل‌ها نیز در سه شاخص فشار، وضعیت و پاسخ بر اساس شرایط منطقه و اطلاعات موجود معیارهایی به شکل خلاصه‌شده در جدول ۱ تعیین شد.

شاخص‌های محیطی مناسب برای اندازه‌گیری تغییرات تنوع زیستی، سلامت بوم‌سازگان، کیفیت زیستگاه چالش‌برانگیز است. همچنین اثر تغییر شیوه‌های زیرمحاسبه‌های مربوط به ارزیابی سلامت بر وضعیت کلی شاخص مزبور مورد توجه قرار نگرفته است؛ بنابراین هدف از این پژوهش مقایسه روش‌های آماری میانگین و بررسی اختلاف آن‌ها در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز است. در این پژوهش سعی شده است با شناخت کامل منطقه مورد مطالعه از طریق بازدیدهای میدانی و بررسی مطالعات پیشین، مشکلات اصلی و اساسی حوزه آبخیز مطالعاتی تعیین تا پس از مفهوم‌سازی، معیارهای اولیه مؤثر در سلامت آبخیز منطقه انتخاب شود. با توجه به بازدیدهای میدانی و بررسی مطالعات تفصیلی (۱۳۹۲) انجام شده در حوزه آبخیز بلده نور، مشخص شد موضوعات اساسی این حوزه آبخیز اتکای اقتصاد بر دامداری، محدودیت توسعه ساخت و ساز و سطح محدود اراضی زراعی بوده است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بلده نور با مساحت ۷۴۳ کیلومتر مربع بین ۲۰°۳۵' تا ۵۱°۳۰'، ۵۸' طول شرقی و ۲۵°۰۰' تا ۳۶°۴۵'، ۰۰' عرض شمالی واقع است. دامنه ارتفاعی ۲۰۴۶ تا ۴۲۵۸ متر از سطح دریا، شیب متوسط ۳۶ درصد، متوسط بارش سالیانه ۴۳۰/۰۴ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۷/۴۷ درجه سانتی‌گراد در شهرستان نور استان مازندران واقع شده است. این آبخیز بزرگ‌ترین زیرآبخیز رودخانه هراز و بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی آن شهر بلده است. این آبخیز شامل ۱۸ زیرآبخیز با ۳۵ روستا و منابع آب زیرزمینی آن شامل ۱۳۸ دهنه چشمه و سه رشته قنات است. بر اساس روش دومارتن، اقلیم این آبخیز شامل دو بخش خیلی مرطوب و نیمه‌خشک محاسبه شده است. پوشش گیاهی غالب آن مرتع با انواع گندمیان چندساله توأم با گیاهان بوته‌ای و انواع پهن‌برگان بالارزش است. ساختار اقتصادی ساکنین آبخیز نیز بر دامداری، زراعت و باغداری متکی است (Ghanbaritaloke *et al.*, 2015). شکل ۱،



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و ایران  
Figure 1- Location of the study area in Mazandaran Province and Iran

### شاخص فشار (P)

به کمک یک معادله ساده میزان بارندگی مناسب برای هر منطقه را ارائه می‌کند. از این رو شاخص خشکسالی پالمر و شاخص‌هایی نظیر شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و تغییرات سطح آب زیرزمینی نیز از طریق تصاویر سنجنده‌های MODIS و GLDAS با وضوح مکانی یک کیلومتر و طی بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۳۸۲-۱۴۰۲)، از پایگاه Google Earth Engine اخذ شد. کاربری اراضی حوزه آبخیز نیز از طریق استخراج از لایه‌های مطالعاتی و مقایسه در نرم‌افزار Google Earth برای سال ۲۰۲۲ تهیه شد. معیار تقاطع جاده با آبراهه نیز از لایه‌های اطلاعاتی آبراهه‌های منطقه و طول جاده نیز با استفاده از سامانه Google Earth و لایه اطلاعاتی جاده‌های کشور محاسبه شد (جدول ۲).

با توجه به این که حوزه آبخیز یک سامانه پیچیده است، چهار عامل طبیعی، هیدرولوژی، انسانی و اقلیمی برای شاخص فشار در نظر گرفته شد. سپس با در نظر گرفتن مشکلات عمده حوزه آبخیز بلده نور، ۱۶ معیار مختلف و مناسب برای شاخص فشار تعیین شد. در ادامه نحوه محاسبه این معیارها ارائه شده است. به منظور تهیه متغیرهای اقلیمی از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی بطاهرکلا و مینک طی دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ به سبب قابلیت دسترسی در پایگاه منابع آب ایران استفاده شد. همچنین نقشه مدل رقومی ارتفاع نیز از طریق خطوط توپوگرافی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. شاخص خشکسالی Palmer با استفاده از داده‌های دما و بارندگی ماهانه و

جدول ۱- مفهوم‌سازی چارچوب شاخص، عوامل و معیارهای سلامت با رویکرد PSR در حوزه آبخیز بلده نور

Table 1- Conceptualization of Index Framework, Health Factors, and Criteria Using the PSR Approach in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

منبع	واحد	روش محاسب	معیار	عامل	شاخص
Mahdavi (2009)	m	نقشه توپوگرافی و DEM	اختلاف ارتفاع	طبیعی	
Mahdavi (2009)	Degree	نقشه DEM	شیب		
-	تعداد	نرم‌افزار ArcGIS 10.7	تعداد زمین لغزش		
-	Km	نقشه گسل ایران و نرم‌افزار ArcGIS 10.7	طول گسل		
Sadeghi et al. (2022)	Km <sup>2</sup>	نقشه زمین‌شناسی	مساحت سازند حساس به فرسایش		
Sadeghi et al., (2022)	تعداد	نقشه آبراهه و جاده‌های کشور	تقاطع آبراهه و جاده	هیدرولوژی	
Sadeghi et al., (2022)	h	روش کریچ	زمان تمرکز		
Sadeghi et al. (2022)	mm	ایستگاه هواشناسی	بارش	اقلیمی	
Sadeghi et al., (2022)	C°	ایستگاه هواشناسی	دما		
Sadeghi et al., (2022)	بدون واحد	تصاویر سنجنده GLDAS	خشکسالی		
Sadeghi et al., (2022)	Km	نرم‌افزار Google Earth و ArcGIS 10.7	طول جاده	فشار	
مطالعه تفصیلی	تعداد	مطالعه تفصیلی	تعداد دام		
Hazbavi et al., (2020)	Km <sup>2</sup>	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری مرتع با پوشش گیاهی متوسط مبتنی بر مطالعات تفصیلی-اجرایی آبخیز بلده	انسانی	
Hazbavi et al., (2020)	Km <sup>2</sup>	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری مرتع با پوشش گیاهی فقیر		
Hazbavi et al., (2020)	Km <sup>2</sup>	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری کشاورزی		
Hazbavi et al., (2020)	Km <sup>2</sup>	نقشه شیب و کاربری اراضی	مساحت اراضی با شیب کم تر از ۱۲ درصد		
Hazbavi et al., (2020)	Km <sup>2</sup>	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری مسکونی		
Hazbavi et al., (2020)	Km <sup>2</sup>	نقشه کاربری اراضی	مساحت کاربری پروند سنگی		
Ghabelnezam et al., (2023)	بدون واحد	محصولات سنجنده GLDAS و Google earth Engine	نسبت پوشش گیاهی فصل رویش به پوشش گیاهی کل سال		
Ghabelnezam et al., (2023)	بدون واحد	محصولات سنجنده GLDAS و Google earth Engine	شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)		
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری پروند سنگی به سطح زیرحوزه آبخیز	طبیعی	
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری مرتع به سطح زیرحوزه آبخیز		
Hafezparast (2020)	m	محصولات سنجنده GLDAS و Google earth Engine	تغییرات آب زیرزمینی		
Bi et al., (2016)	Kg m <sup>-2</sup>	محصولات سنجنده MODIS و GLDAS	رطوبت خاک		
Sadeghi et al., (2022)	Km km <sup>-2</sup>	نقشه آبراهه	تراکم زهکشی	هیدرولوژی	
Hazbavi et al., (2023)	بدون واحد	نقشه بافت خاک و نرم‌افزار CN-Calculator	شماره منحنی رواناب (CN)		
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری پروند سنگی به سطح زیرحوزه آبخیز	انسانی	
Hazbavi et al., 2020	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری کشاورزی به سطح زیرحوزه آبخیز		
Hazbavi et al., (2020)	بدون واحد	نقشه کاربری اراضی	نسبت مساحت کاربری مرتع به سطح زیرحوزه آبخیز		

شاخص	عامل	معیار	روش محاسب	واحد	منبع
		نسبت مساحت کاربری کشاورزی به سطح زیرحوزه آبخیز تراکم جمعیت مرکز ثقل اراضی کشاورزی	نقشه کاربری اراضی	بدون واحد	Hazbavi et al., (2020)
			درگاه ملی آمار ایران	تعداد در سطح	Sadeghi et al., (2022)
			نرم‌افزار ArcGIS10.7 و نقشه کاربری اراضی	Km	-
			نرم‌افزار Google Earth	Km km <sup>2</sup>	Sadeghi et al., (2022)
	انسانی	تراکم جاده شاخص طبیعت‌گرایی معکوس شاخص طبیعت‌گرایی تولید ناخالص اولیه گیاهی روی زمینی جمعیت واحد دامی	نقشه کاربری اراضی	بدون واحد	-
			نقشه کاربری اراضی	بدون واحد	-
			تصاویر سنجنده MODIS	بدون واحد	Hazbavi et al., (2023)
			درگاه ملی آمار ایران	تعداد	www.amar.orj
			مطالعات تفصیلی	تعداد	مطالعات تفصیلی

### شاخص وضعیت (S)

سیلت با هم ترکیب و نقشه بافت خاک تهیه شد. پس از آن از روی نقشه بافت خاک با استفاده از دستورالعمل‌های موجود (Mahdavi, 2009) گروه‌های هیدرولوژی خاک نیز برای حوزه آبخیز استخراج شد. در نهایت از نرم‌افزار ایرانی CN Calculator برای تعیین مقدار CN، در هر کاربری اراضی در سطح زیرآبخیزها استفاده شد (Hazbavi et al., 2023).

### شاخص پاسخ (R)

برای سنجش میزان تغییرات جمعیت در شاخص پاسخ از اطلاعات موجود در درگاه ملی آمار ایران بهره گرفته شد. میزان تولید اولیه خالص<sup>۱۳</sup> از تصاویر سنجنده‌های MODIS با وضوح مکانی یک کیلومتر و برای بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۲-۱۳۸۲) از پایگاه Google Earth Engine اخذ شد. با توجه به اطلاعات مربوط به مطالعات تفصیلی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری انجام شده در آبخیز نیز تعداد واحد دامی برای هر کدام از زیرحوزه آبخیز به دست آمد.

### کاهش داده‌ها

با توجه به همبستگی زیاد بین بسیاری از معیارها و تأثیر ناچیز متغیرهای خاص، حذف برخی از آنها ضروری است. روش‌های مختلفی برای محاسبه

در شاخص وضعیت میزان رطوبت سطحی خاک از تصاویر سنجنده‌های MODIS و GLDAS با وضوح مکانی یک کیلومتر و برای بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۲-۱۳۸۲) از پایگاه Google Earth Engine اخذ شد. همچنین نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از عکس زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. پس از آن نقشه سازندهای حساس به فرسایش و فرسایش‌پذیری نیز تهیه شد. بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران و لایه‌های جمعیتی، تعداد جمعیت هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز مشخص شده و از تقسیم تعداد جمعیت به مساحت زیرحوزه‌های آبخیز مربوطه، تراکم جمعیت محاسبه شد. در ادامه میزان تراکم زهکشی نیز با بهره گرفتن از نقشه آبراهه منطقه که از نقشه DEM از طریق نرم‌افزار ArcGIS 10.7 استخراج شده بود، محاسبه شد. با توجه به اطلاعات مربوط به مطالعات تفصیلی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری در سال ۱۳۹۲ در حوزه آبخیز بلده نور، تعداد دام موجود در هر زیرحوزه آبخیز بدست آمد. برای محاسبه معیار شماره منحنی رواناب نیز نقشه درصد رس، شن و سیلت برای حوزه آبخیز بلده نور از پایگاه جهانی soilgrids.org اخذ شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SAGA 2.1.1 سه لایه درصد شن، رس و

به دلیل گستردگی زیاد عناصر تشکیل دهنده حوزه‌های آبخیز و روابط پیچیده بین آن‌ها ممکن است یک متغیر دارای مقداری متفاوت یا با دامنه متفاوت از سایر معیارها باشد. در این صورت باید برای در نظر گرفتن تمامی معیارها در طول دوره آماری از روشی استفاده کرد که تغییرات دامنه معیارها را مدنظر قرار دهد و تغییر در معیارها را برجسته نماید (Ratha & Agrawal, 2015). به منظور مقایسه و کسب بهترین نتیجه در هر شاخص حالت هر متغیر در هر شاخص بر سلامت کلی آبخیز تعیین و در ادامه، مقادیر شاخص سلامت در زیرآبخیزهای بلده نور با استفاده از رابطه‌های (۳) تا (۷) تعیین شد. به عبارتی نتایج مقادیر شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ با استفاده از میانگین‌های حسابی<sup>۱۵</sup>، هم‌ساز<sup>۱۶</sup>، خلاصه‌شده<sup>۱۷</sup>، وزنی<sup>۱۸</sup> و هندسی<sup>۱۹</sup> با یکدیگر مقایسه و سلامت حوزه آبخیز پهنه‌بندی و در نهایت زیرآبخیزها بر اساس سلامت حوزه آبخیز اولویت‌بندی شدند. میانگین حسابی ساده‌ترین و پرکاربردترین معیار میانگین‌گیری است که شامل جمع‌آوری یک گروه از اعداد، سپس تقسیم آن مجموع بر تعداد اعداد استفاده‌شده در سری است اما میانگین حسابی همیشه ایده‌آل نیست، به خصوص زمانی که یک نقطه پرت می‌تواند میانگین را تا حد زیادی منحرف کند (رابطه ۳). در یک میانگین وزنی، مقادیر ضریب Beta حاصل از آزمون رگرسیونی برای سه شاخص فشار، حالت و پاسخ بر مجموع مقادیر تقسیم و عدد حاصل برای هر شاخص به‌عنوان وزن اختصاص‌یافته تعریف می‌شود. بنابراین مقدار عددی هر شاخص برای هر آبخیز در وزن اختصاص داده‌شده ضرب می‌شود، سپس جمع و بر تعداد نقاط داده تقسیم می‌شود (رابطه ۴). میانگین هندسی حاصل ضرب تمام اعداد سری را می‌گیرد و آن را به معکوس طول سری می‌رساند (رابطه ۵). میانگین هم‌ساز با تقسیم تعداد

همبستگی میان متغیرها وجود دارد. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار SPSS برای آزمون عامل تورم واریانس<sup>۱۴</sup> (VIF) به منظور ارزیابی استقلال داده‌ها و لحاظ اولین عامل ورودی به عنوان متغیر وابسته و سایر عامل‌ها به عنوان متغیرهای مستقل استفاده شد. در ادامه شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ بر اساس معیارهایی بدون همبستگی درونی محاسبه شد. قابل ذکر است که معیارهایی که با مقدار VIF بیشتر از ۱۰ به دلیل همبستگی بالا شناسایی شدند، از محاسبه شاخص‌های سلامت حوزه آبخیز حذف شدند (Aghaei Meibodi & Hamidizadeh, 2017; Sadeghi et al., 2023).

### نرمال‌سازی داده‌ها

در پژوهش حاضر به منظور مقایسه بهتر معیارهای با مقادیر و واحدهای متفاوت و به منظور مقایسه بهتر نتایج معیارهای موردبررسی و مرتبط با سلامت حوزه آبخیز، داده‌های مربوط به تمام معیارها نرمال‌سازی و در بازه بین صفر تا یک قرار گرفتند. با توجه به برخورداری معیارهای مطالعاتی از مفاهیم رابطه مثبت و منفی با سلامت حوزه آبخیز بلده نور از رابطه‌های (۱) و (۲) برای دو گروه با اثر متفاوت استفاده شد (Saaduddin et al., 2017).

$$\text{Index} = \frac{\text{Score} - \text{Lowest score}}{\text{Highest score} - \text{lowest score}} \quad (1)$$

$$\text{Index} = 1 - \frac{\text{Score} - \text{Lowest score}}{\text{Highest score} - \text{Lowest score}} \quad (2)$$

که در آن، Score، بیان‌گر مقدار داده‌های نرمال‌شده واقعی، Lowest score، مقدار داده نرمال‌شده حداقل و Highest Score نیز مقدار نرمال‌شده حداکثر معیار موردنظر است.

### پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز

پس از محاسبه شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ، وضعیت سلامت حوزه آبخیز بلده نور پهنه‌بندی شد.

17- Summarized Mean  
18- Wighted Mean  
19- Geometric Mean

14- Variance Inflation Factor (VIF)  
15- Arithmatic Mean  
16- Harmonic Mean

$$(۸) \quad \frac{S \times R}{p} = \text{امنیت بوم‌شناخت}$$

### نتایج

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه سلامت حوزه آبخیز بلده نور، ابتدا با شناخت کامل منطقه مورد مطالعه و مفهوم‌سازی مشکلات اصلی این حوزه آبخیز، عامل‌های تأثیرگذار تعیین شد. پهنه‌بندی وضعیت سلامت آبخیز بلده نور بر اساس رویکرد شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ به صورت موفقیت‌آمیز انجام و نتایج مربوطه در جدول‌های ۲ و ۳ و شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. نهایی‌سازی معیارها با بررسی شاخص عامل تورم واریانس کمتر از ۱۰، مشابه با پژوهش Chamani و همکاران (۲۰۲۴) صورت گرفت. برای این منظور شاخص فشار، وضعیت و پاسخ به صورت گروهی برای آزمون معرفی شد. در نهایت درصد تأثیر هر کدام از این معیارها در سلامت حوزه آبخیز نیز محاسبه شد. بر اساس شاخص عامل تورم واریانس معیارهای (نسبت وسعت برونزدگی‌های سنگی به مساحت حوزه آبخیز، نسبت کاربری مرتع نسبت به مساحت حوزه آبخیز، نسبت وسعت کاربری کشاورزی به مساحت حوزه آبخیز، معکوس شاخص طبیعت‌گرایی، تغییرات آب زیرزمینی، تراکم زهکشی، تراکم جاده و شماره منحنی) به سبب داشتن مقدار تورم واریانس بیشتر از ۱۰ حذف شدند و در محاسبه سلامت آبخیز مورد استفاده قرار نگرفتند.

### بحث

**پهنه‌بندی شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ**  
بررسی نتایج نشان داد که در شاخص فشار، کمترین تأثیر را معیار زمین‌لغزش با مقدار ۰/۲۰ درصد و بیشترین تأثیر را معیار مرتع خوب با مقدار ۴۹/۹۷ درصد داشته است. از طرفی در شاخص وضعیت نیز کمترین تأثیر را معیار NDVI با مقدار ۱۰/۷۸ درصد و بیشترین تأثیر را معیار تراکم جمعیت با مقدار ۲۵/۶۰ درصد دارد. در نهایت، برای شاخص پاسخ نیز کمترین درصد اثرگذاری را معیار تولید اولیه خالص و بیشترین درصد اثرگذاری را معیار واحد دامی به خود اختصاص

مقادیر در یک مجموعه داده بر مجموع متقابل آن مقادیر محاسبه می‌شود (رابطه ۶). در میانگین خلاصه‌شده، میانگین برای بخشی از داده‌ها که شامل داده‌های پرت نباشند، محاسبه می‌شود؛ از این رو برای حذف نقاط دورافتاده از فراسنجه «درصد» (P) استفاده می‌شود. این مقدار نشان می‌دهد که چه درصدی از بزرگترین و کوچکترین داده‌ها برای میانگین‌گیری باید حذف شود (رابطه ۷) (Zwilling, 2002; Wilcox, 2012; Hazbavi et al., 2020; Asadifard & Masoudi, 2021). پس از تعیین بهترین نتیجه، به منظور سهولت مقایسه نتایج و ایجاد یک پهنه‌بندی مناسب، شاخص سلامت به پنج گروه ناسالم (۰/۰۰ تا ۰/۲۰)، نسبتاً ناسالم (۰/۲۰ تا ۰/۴۰)، متوسط (۰/۴۰ تا ۰/۶۰)، نسبتاً سالم (۰/۶۰ تا ۰/۸۰) و سالم (۰/۸۰ تا ۱/۰۰) طبقه‌بندی شد (Hazbavi & Sadeghi, 2017).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_j}{n} \quad (۳)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i X_j}{\sum W_i} \quad (۴)$$

$$\bar{X} = \left[ \prod_{n=1}^k X_n \right]^{\frac{1}{k}} \quad (۵)$$

$$\bar{X} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n 1/X_i} = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}} \quad (۶)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{(n \times P)+1}^{n \times (1-P)} X_i}{n \times (1 - 2P)} \quad (۷)$$

که در رابطه‌های (۳)، (۴)، (۶) و (۷) نشان‌دهنده مقادیر شاخص‌ها و n در رابطه (۶) مجموع کل شاخص‌هاست. همچنین در رابطه (۴)،  $\prod_{n=1}^k X_n$  و K به ترتیب برابر با حاصلضرب و تعداد شاخص‌هاست. در رابطه (۷) درصد (P) بیانگر درصد کل داده‌های حذفی است.

### امنیت بوم‌شناختی

امنیت بوم‌شناختی بر اساس رابطه (۸) بر نقش ترکیبی شاخص‌های فشار، حالت و پاسخ در ارائه دیدگاهی جامع از تحمل آبخیز در برابر فشارهای احتمیلی تأکید دارد. رابطه (۶) بیان‌گر این مفهوم است که هرچقدر خدمات بوم‌سازگان زیادتر باشد، آبخیز ایمن‌تر و اولویت برنامهریزی کم‌تر است (Ma et al., 2019).

وارد شده است برخی پاسخ کم و برخی نیز در مقابل فشار پاسخ خیلی زیادی به فشار معیارها نشان داده‌اند (شکل ۲). همچنین درصد مساحت تحت تأثیر شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ نیز نشان می‌دهد که ۶۵ درصد از مساحت کل حوزه آبخیز تحت تأثیر فشار زیاد قرار دارد که تنها ۲۱ درصد از مساحت کل حوزه آبخیز در مقابل فشارهای وارد شده در وضعیت زیاد قرار می‌گیرد و از آن فشار وارد شده و وضعیت ایجاد شده، ۴۴ درصد از سطح حوزه آبخیز، پاسخ نشان می‌دهند.

### پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز

در پژوهش حاضر بر اساس میانگین حسابی مشخص شد که زیرآبخیز ۹ دارای حداقل مقدار سلامت برابر ۰/۵۳ و زیرآبخیز ۱۷ نیز دارای حداکثر مقدار سلامت برابر ۰/۷۴ است. همچنین میانگین وزنی اهمیت یا فراوانی نسبی برخی از عوامل را در یک مجموعه داده در نظر می‌گیرد؛ بنابراین بر اساس میانگین وزنی نیز مشخص شد زیرآبخیز ۹ دارای حداقل مقدار سلامت برابر ۰/۵۰ و زیرآبخیز ۱۷ نیز دارای حداکثر مقدار سلامت برابر ۰/۷۵ است. نتایج نشان داد که عملکرد میانگین هندسی برای سری‌هایی با همبستگی پایبی، مناسب‌تر از سایر میانگین‌هاست. هرچه افق زمانی طولانی‌تر باشد، ترکیب‌بندی و استفاده از میانگین هندسی ضروری‌تر می‌شود؛ بنابراین میانگین هندسی نیز نشان می‌دهد که زیرآبخیز ۹ دارای حداقل مقدار سلامت برابر ۰/۵۲ و زیرآبخیز ۱۸ نیز دارای حداکثر مقدار سلامت برابر ۰/۷۴ است. از طرفی میانگین خلاصه‌شده نیز نشان داد زیرآبخیز ۹ دارای حداقل سلامت برابر ۰/۵۳ و حداکثر سلامت نیز در زیرآبخیز ۱۷ برابر ۰/۷۴ است. میانگین هم‌ساز نیز نشان داد حداقل و حداکثر مقدار سلامت در زیرآبخیزهای ۹ و ۱۸ به ترتیب برابر ۰/۵۰ و ۰/۷۴ است. جدول ۳ نتایج سلامت و همچنین اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی از حیث سلامت را نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد با این‌که برای ارزیابی سلامت حوزه آبخیز از پنج روش میانگین‌گیری متفاوت استفاده شده است، اما این

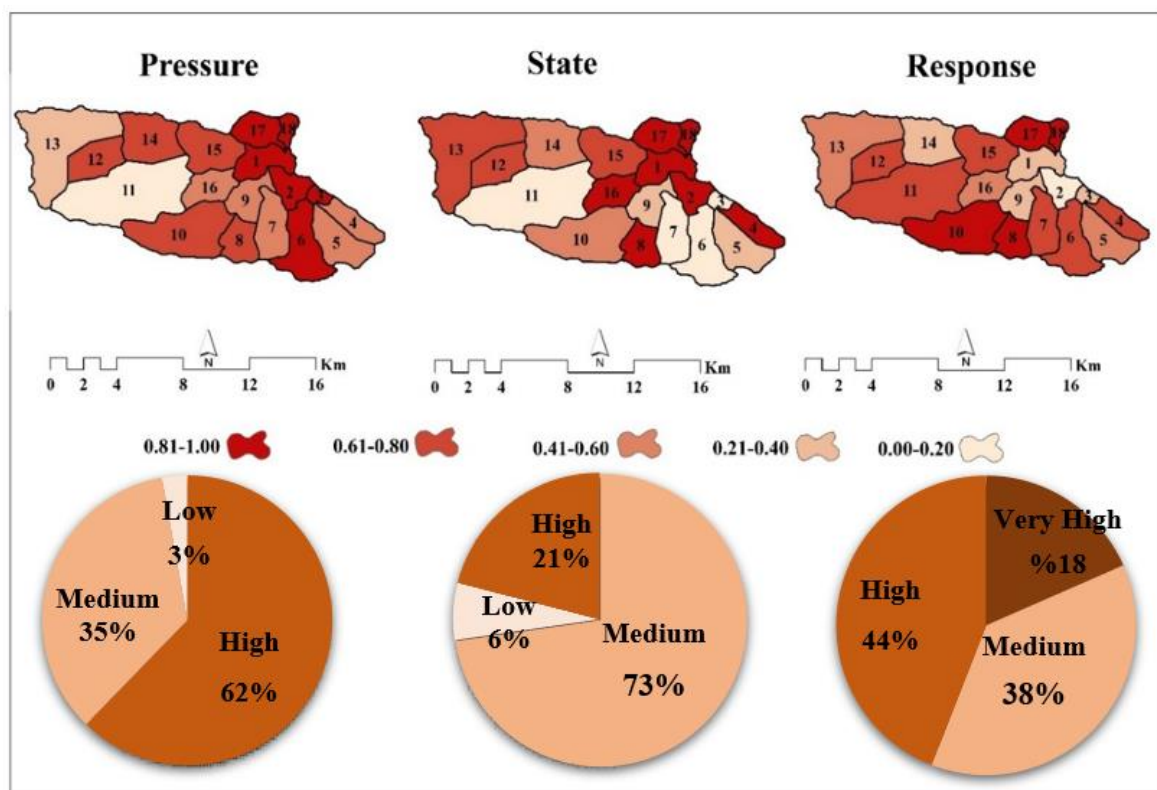
دادند. مطالعات دیگری (برای نمونه Hazbavi et al., 2017; Ebrahimi et al., 2018; Sadeghi et al., 2018; Sadeghi et al., 2019; Ebrahimi Gatgash & Sadeghi, 2023) نیز رویه مشابهی برای ارزیابی سلامت حوزه آبخیز در نقاط مختلف ایران را گزارش کرده‌اند. نتایج محاسبه تغییرات مکانی شاخص سلامت حاصل از کاربست رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ حوزه آبخیز و در توالی پژوهش‌های مشابه Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیز کوزه‌تپراقی اردبیل، Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) در دروازه قرآن شیراز، Sadeghi و همکاران (۲۰۲۳) در ۳۰ حوزه آبخیز بزرگ و درجه دوم در سراسر ایران و Chamani و همکاران (۲۰۲۴) در حوزه آبخیز بلده نور (شکل ۲) نشان داد که در شاخص فشار، زیرحوزه آبخیز ۱۱ دارای حداقل مقدار یعنی در طبقه خیلی کم (۰/۲۰-۰/۰) قرار دارد. همچنین زیرحوزه‌های آبخیز ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۷ و ۱۸ دارای بیشترین مقدار فشار وارد شده (۰/۸۰ تا ۱/۰۰) قرار دارند. در شاخص وضعیت نیز زیرحوزه‌های آبخیز ۳، ۴، ۶، ۷ و ۱۱ دارای حداقل مقدار یعنی در طبقه خیلی کم قرار دارند. از طرفی زیرحوزه‌های آبخیز ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ نیز در طبقه خیلی زیاد یعنی (۰/۸۰ تا ۱/۰۰) قرار دارند. در شاخص پاسخ نیز می‌توان گفت که زیرحوزه آبخیز ۲ در طبقه خیلی کم قرار دارد و زیرآبخیزهای ۸ و ۱۰ نیز در طبقه خیلی زیاد قرار دارند. نتایج محاسبه شاخص‌های فشار، وضعیت و پاسخ نشان می‌دهند معیارهایی که برای شاخص فشار تعیین شده بود کمترین فشار را به زیرحوزه آبخیز ۱۱ وارد می‌کنند اما با مقایسه شاخص وضعیت می‌توان نتیجه گرفت برخی از زیرآبخیزهایی مانند ۸ که در شاخص فشار در طبقه متوسط قرار داشتند، در شاخص وضعیت در طبقه بسیار زیاد قرار دارد. این بدان معنا است که این زیرآبخیز در مقابل فشاری که وارد شده تأثیرپذیری بیشتری داشته است. همچنین با مقایسه شاخص پاسخ نیز می‌توان نتیجه گرفت زیرآبخیزهایی که در شاخص فشار، تحت تأثیر فشار کم قرار داشتند در پاسخ، در طبقه زیاد قرار دارند و زیرآبخیزهایی که فشار زیادی به آنها

نشان داد که میانگین هندسی دارای حساسیت بیشتری نسبت به ارزیابی سلامت حوزه آبخیز دارد، چرا که زیرآبخیز ۱۱ علاوه بر این که دارای بیشترین وسعت مرتع خوب نسبت به سایر زیرآبخیزهاست، دارای بیشترین وسعت پوشش برونزدگی سنگی، کاربری کشاورزی و باغ، تقاطع آبراهه و جاده، گسل نیز است که با اظهارات Hazbavi و همکاران (۲۰۲۰) نیز مطابقت دارد. در عین حال ارزیابی مقایسه‌ای و تفصیلی نتایج پژوهش حاضر به سبب تفاوت در رویکرد انتخابی پژوهش در خصوص کاربری روش‌های مختلف میانگین‌گیری شاخص‌های مختلف امکان‌پذیر نبوده است.

تفاوت در میانگین در ماهیت این که زیرآبخیز ۹ به عنوان یک زیرآبخیز بسیار ناسالم عوض نکرد. همچنین زیرآبخیزهای ۸، ۱۷ و ۱۸ در تمام میانگین‌ها در طبقه بسیار سالم از لحاظ سلامت قرار گرفتند اما میانگین وزنی زیرآبخیز ۱۲ را نیز به طبقه بسیار سالم اختصاص داده است. از طرفی در میانگین هندسی در مقایسه با دیگر میانگین‌ها مشخص شد که زیرآبخیز ۱۱ نیز از لحاظ سلامت در طبقه بسیار ناسالم است. همچنین در میانگین وزنی نیز مشخص شد که علاوه بر زیرآبخیز ۹، زیرآبخیز ۳ نیز در طبقه بسیار ناسالم از لحاظ سلامت قرار دارد. بررسی‌های میدانی از حوزه آبخیز بلده نور

جدول ۲- نتایج آزمون تورم واریانس و درصد مشارکت معیارها در سلامت آبخیز با رویکرد PSR در حوزه آبخیز بلده نور  
Table 2- Results of the Variance Inflation Test and the Percentage Contribution of Criteria to Watershed Health Using the PSR Approach in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

شاخص	معیار	Beta	VIF	درصد اثرگذاری
فشار	مساحت کاربری مرتع متوسط	0.06	1.88	1.34
	مساحت کاربری مسکونی	0.04	1.16	0.82
	مساحت کاربری برونزد سنگی	-0.01	2.64	0.24
	مساحت کاربری مرتع فقیر	-0.25	1.03	5.31
	مساحت کاربری مرتع خوب	0.78	2.26	16.10
	مساحت کاربری کشاورزی	-0.40	1.03	8.38
	خشکسالی	0.29	2.26	5.94
	بارش	0.60	1.79	12.48
	دما	0.68	1.24	14.13
	شیب	-0.01	1.36	0.25
	تقاطع آبراهه و جاده	-0.06	1.68	1.31
	اختلاف ارتفاع	0.29	7.68	6.10
	طول جاده	-0.04	2.40	0.94
	تعداد دام	0.83	2.47	17.20
	زمین لغزش	0.00	2.09	0.07
	طول گسل	0.36	5.48	7.46
	وضعیت	مساحت سازندهای حساس به فرسایش	0.03	2.93
زمان تمرکز		-0.02	4.48	0.58
وسعت اراضی با شیب کم‌تر از ۱۲ درصد		0.02	2.00	0.52
تراکم جمعیت		-0.73	8.16	25.60
نسبت پوشش گیاهی فصل رویش به پوشش گیاهی کل سال		-0.34	7.48	11.98
شاخص طبیعت‌گرایی		0.45	2.35	14.14
رطوبت سطح		-0.44	4.55	15.58
NDVI		0.30	8.54	10.78
مرکز ثقل اراضی کشاورزی		-0.62	5.79	21.89
پاسخ		واحد دامی	0.93	1.04
	جمعیت	0.27	1.08	22.53
	تولید خالص اولیه	0.00	1.06	0.17



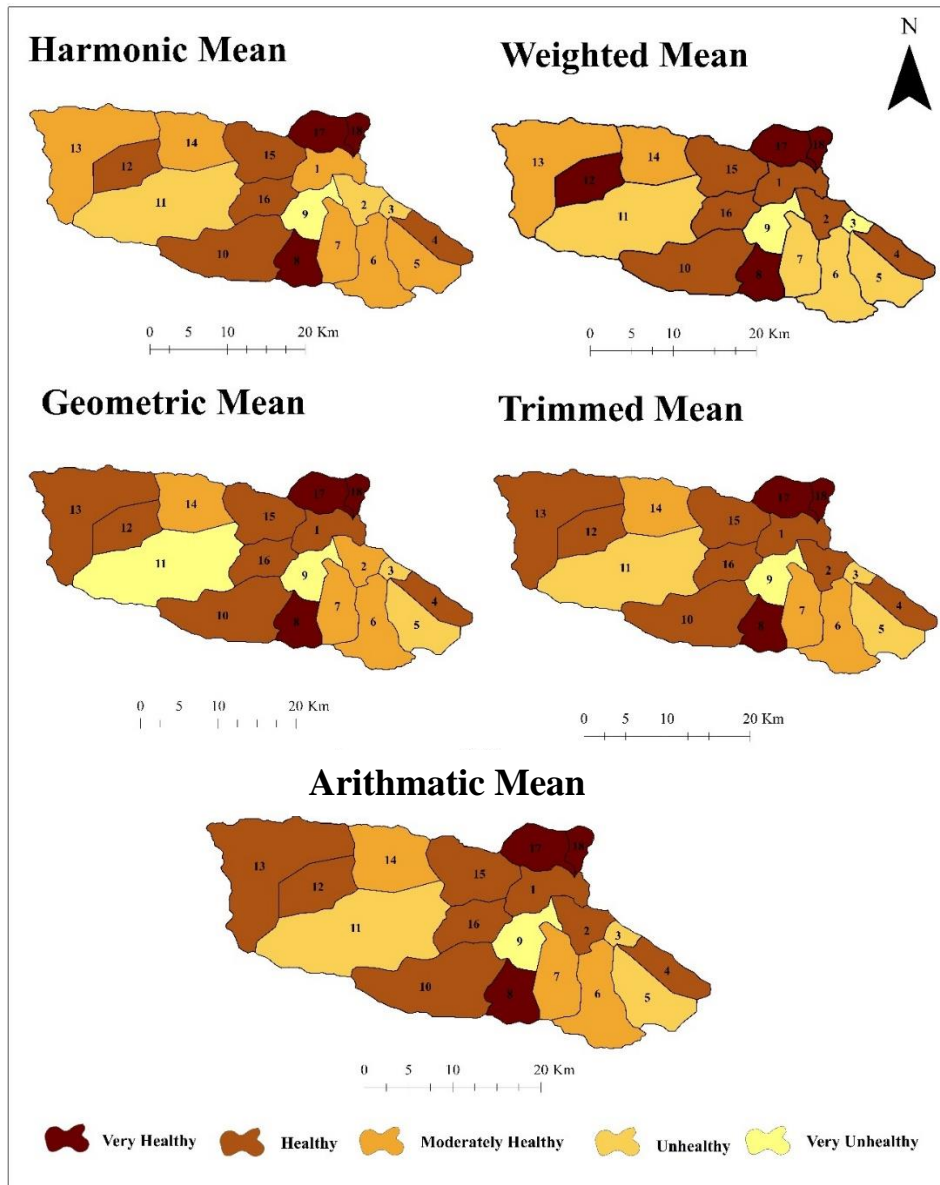
شکل ۲- پهنه‌بندی شاخص‌های فشار-وضعیت-پاسخ و درصد مشارکت سطح حوزه آبخیز بلده نور

Figure 2- Zoning of Pressure-State-Response Indicators and Participation Percentage in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

جدول ۳- مقادیر شاخص فشار-وضعیت-پاسخ و اولویت‌بندی زیرآبخیزهای بلده نور

Table 3- Values of Pressure-State-Response Index and Prioritization of Sub-Watersheds in the Baladeh-e-Noor Watershed, Iran

اولویت	وضعیت سلامت	میانگین هم‌ساز	اولویت	وضعیت سلامت	میانگین خلاصه‌شده	اولویت	وضعیت سلامت	میانگین وزنی	اولویت	وضعیت سلامت	میانگین هندسی	اولویت	وضعیت سلامت	میانگین حسابی	زیر آبخیز
9	نسبتاً سالم	0.61	6	نسبتاً سالم	0.65	9	نسبتاً سالم	0.64	8	نسبتاً سالم	0.63	6	نسبتاً سالم	0.65	1
17	متوسط	0.53	5	نسبتاً سالم	0.65	10	نسبتاً سالم	0.62	12	متوسط	0.59	5	نسبتاً سالم	0.65	2
16	متوسط	0.54	15	متوسط	0.56	17		0.53	16	متوسط	0.55	15	متوسط	0.56	3
7	نسبتاً سالم	0.62	10	نسبتاً سالم	0.64	6	نسبتاً سالم	0.64	7	نسبتاً سالم	0.63	10	نسبتاً سالم	0.64	4
14	متوسط	0.55	16	متوسط	0.56	16	متوسط	0.54	15	متوسط	0.56	16	متوسط	0.56	5
11	متوسط	0.58	13	نسبتاً سالم	0.60	14	متوسط	0.57	13	متوسط	0.59	13	نسبتاً سالم	0.60	6
13	متوسط	0.57	14	متوسط	0.58	13	متوسط	0.57	14	متوسط	0.58	14	متوسط	0.58	7
3	نسبتاً سالم	0.68	3	نسبتاً سالم	0.69	3	نسبتاً سالم	0.70	3	نسبتاً سالم	0.69	3	نسبتاً سالم	0.69	8
18	متوسط	0.50	18	متوسط	0.53	18	متوسط	0.50	18	متوسط	0.52	18	متوسط	0.53	9
6	نسبتاً سالم	0.64	9	نسبتاً سالم	0.64	8	نسبتاً سالم	0.64	6	نسبتاً سالم	0.64	9	نسبتاً سالم	0.64	10
15	متوسط	0.55	17	متوسط	0.55	15	متوسط	0.56	17	متوسط	0.55	8	متوسط	0.55	11
4	نسبتاً سالم	0.66	4	نسبتاً سالم	0.67	4	نسبتاً سالم	0.67	4	نسبتاً سالم	0.67	4	نسبتاً سالم	0.67	12
10	متوسط	0.59	11	نسبتاً سالم	0.61	11	نسبتاً سالم	0.62	10	نسبتاً سالم	0.60	11	نسبتاً سالم	0.61	13
12	متوسط	0.58	12	نسبتاً سالم	0.61	12	متوسط	0.59	11	نسبتاً سالم	0.60	12	نسبتاً سالم	0.61	14
5	نسبتاً سالم	0.65	7	نسبتاً سالم	0.65	7	نسبتاً سالم	0.64	5	نسبتاً سالم	0.65	7	نسبتاً سالم	0.65	15
8	نسبتاً سالم	0.61	8	نسبتاً سالم	0.65	5	نسبتاً سالم	0.65	9	نسبتاً سالم	0.63	8	نسبتاً سالم	0.65	16
2	نسبتاً سالم	0.73	1	نسبتاً سالم	0.74	1	نسبتاً سالم	0.75	2	نسبتاً سالم	0.74	1	نسبتاً سالم	0.74	17
1	نسبتاً سالم	0.74	2	نسبتاً سالم	0.74	2	نسبتاً سالم	0.74	1	نسبتاً سالم	0.74	2	نسبتاً سالم	0.74	18
-		<b>0.60</b>			<b>0.63</b>	-		<b>0.62</b>	-		<b>0.62</b>	-		<b>0.63</b>	کل



شکل ۳- پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز بلده نور با میانگین‌های مختلف  
 Figure 3- Health Zoning of the Baladeh-e-Noor Watershed Using Different Means

همساز و خلاصه‌شده به ترتیب برابر ۰/۶۳، ۰/۶۲، ۰/۶۲، ۰/۶۳ و ۰/۶۰ می‌شود که بیان‌گر این است که حوزه آبخیز در وضعیت نسبتاً سالم قرار دارد. همچنین بر اساس نتایج تحلیل‌های آماری میانگین‌های حسابی، وزنی، هندسی، همساز و خلاصه‌شده مشخص شد که نتایج هر پنج روش در اکثر زیرآبخیزها مشابه است و میانگین هندسی و وزنی نسبت به سایر میانگین‌ها حساسیت بیشتری در پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز نسبت به معیارهای فشار دارد. از طرفی تغییرات مکانی

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش سلامت حوزه آبخیز بلده نور با توجه به مشکلات اصلی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس شاخص‌ها و معیارهای مرتبط و تأثیرگذار بر این مشکلات با استفاده از بازبندی‌های میدانی، مطالعات تفصیلی و داده‌های اقلیمی تعیین شد. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌ها و معیارهای در نظر گرفته‌شده در ارزیابی سلامت حوزه آبخیز بلده نور مشخص شد که رویکرد PSR و نتایج میانگین حسابی، هندسی، وزنی،

سازگار و مبتنی بر آمایش سرزمین، توسعه کم‌پيامد و تحلیل روند تغییرات محیطی چشم‌انداز آینده این آبخیز با تکیه بر حفظ زیرآبخیزهای سالم و بهبود زیرآبخیزهای ناسالم به سالم طراحی و اجرایی شود؛ بنابراین می‌توان گفت شاخص سلامت حوزه آبخیز به‌عنوان ابزار کاربردی در مدیریت حوزه آبخیز، می‌تواند در تعیین اولویت‌ها و پایش تغییرات وضعیت حوزه آبخیز استفاده شود. همچنین از آن جایی که در شاخص سلامت، ابعاد مختلف تأثیرگذار بر مدیریت بوم‌سازگان در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل موجودیت حوزه آبخیز برای استفاده با نیازهای موجودات زنده در نظر گرفته شود.

متغیرهای محاسبه‌شده نشان داد که وسعت مرتع خوب، تراکم جمعیت و واحد دامی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وضعیت سلامت آبخیز بلده نور محسوب می‌شوند. بر همین اساس پیشنهاد می‌شود که راهکارهای مبتنی بر طبیعت، مدیریت مشارکتی، سازگار و در عین حال جامع برای بهبود سلامت آبخیز بلده نور در اولویت قرار گیرند. همچنین با توجه به وضعیت مناسب حوزه آبخیز بلده نور به لحاظ جاذبه‌های گردشگری و برخورداری از آب و هوای مناسب، دخل و تصرف بیشتر در منطقه و گسترش مناطق مسکونی و افزایش جمعیت خوش‌نشین در آینده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. لذا پیشنهاد می‌شود برنامه‌های توسعه‌ای تنها به‌صورت هم‌ساز با شرایط طبیعی حاکم بر منطقه با استفاده از روش‌های مختلف مدیریتی

## References

- Ahn, S. R., & Kim, S. J. (2019). Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration Priorities. *Environmental Modelling & Software*, 122, 103926. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014>
- Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A., Sharari, M., & Hazbavi, Z. (2020). Assessment and comparison of landscape connectivity in KoozehTopraghi watershed, Ardabil province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8(4), 19-34. <https://doi.org/10.47176/ijae.8.4.2572>. (In Persian)
- Alilou, H., Rahmati, O., Singh, V. P., Choubin, B., Pradhan, B., Keesstra, S., ..., & Sadeghi, S. H. (2019). Evaluation of watershed health using Fuzzy-ANP approach considering geo environmental and topo-hydrological criteria. *Journal of Environmental Management*, 232, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.019>
- Asadifard, E., & Masoudi, M. (2021). Ecological potential evaluation of urban and industrial development in Firoozabad Township using proposed model of EMOLUP. *Journal of Environmental Science Studies*, 6(3), 3927-3937. (In Persian)
- Bañares, E. N., Mehboob, M. S., Khan, A.R., & Cacal, J.C. (2024). Projecting hydrological response to climate change and urbanization using WEAP model: A case study for the main watersheds of Bicol River Basin, Philippines. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 54, 101846. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101846>
- Bi, H., Ma, J., Zheng, W., & Zeng, J. (2016). Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and in situ observations over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(6), 2658-2678. <https://doi.org/10.1002/2015JD024131>
- Chamani, R., Sadeghi, S. H., Zare, S., Shekohideh, H., Mumzaei, A., Amini, H., ..., & Zarei, R. (2024). 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*, 37(1), e12385. <https://doi.org/10.1111/nrm.12385>
- Ebrahimi Gatgash, Z., & Sadeghi, S. H. (2023). Prioritization-based management of the watershed using health assessment analysis at sub-watershed scale. *Environment*,

- Development and Sustainability*, 25(9), 9673-9702. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02455-8>
- Ebrahimi Gatgash, P., Salajegheh, A., Mohseni Saravi, M., Malekian, A., & Sadoddin, A. (2018). Watershed Health Prediction based on Surface Water Quality Variables (Case Study: Taleghan Watershed). *Geography and Environmental Sustainability*, 8(1), 1-13. (In Persian)
- Gari, S.R., Guerrero, C.E.O., Bryann, A., Icely, J.D., & Newton, A. (2018). A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council. *Water Science*, 32(2), 318-337. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.06.001>
- Gatz, D. F., & Smith, L. (1995). The standard error of a weighted mean concentration—I. Bootstrapping vs other methods. *Atmospheric Environment*, 29(11), 1185-1193. [https://doi.org/10.1016/13522310\(94\)00210-C](https://doi.org/10.1016/13522310(94)00210-C)
- Ghanbaritaloke, F., Deyantitilki, G.A., & Vafakhah, M. (2015). Investigation of Spatial variability of Artemisia aucheri yield, density and canopy cover using geostatistics methods (Case study: Baladeh watershed). *Watershed Management Research*, 28(2), 48-56. <https://doi.org/10.22092/wmej.2015.107084> (In Persian)
- Ghabelnezam, E., Babaei, L., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2023). Development of an incorporative PSR-Fuzzy model for health assessment of the KoozehTopraghi Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 152-167. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11379.1125> (In Persian)
- Hafezparast, M. (2020). Monitoring of groundwater level changes using GRACE and GLDAS satellites in Kermanshah Province. *Irrigation and water engineering in Iran*, 12 (48), 234-257. <https://doi.org/10.22125/IWE.2022.150736> (In Persian)
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2017). Watershed health characterization using reliability-resilience vulnerability conceptual framework based on hydrological response, Land Degradation and conceptual framework based on hydrological response. *Development*, 28, 1528-1537. <https://doi.org/10.1002/ldr.2680>
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H. (2017). Watershed Health (Part two): Pressure, State and Response Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(15), 25-30. <https://doi.org/10.1002/ldr.3420> (In Persian)
- Hazbavi, Z., Ghabelnezam, E., Azizi, E., Sharifi, Z., Fatholouloumi, S., & Nikoo, M. R. (2023). Assessment of Ecological Quality in the Nir Watershed, Ardabil Province. *Watershed Management Research*, 36(3), 90-110. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2023.360357> (In Persian)
- Hazbavi, Z., Parchami, N., Alaei, N., & Babaei, L. (2020). Assessment and Analysis of the KoozehTopraghi Watershed Health Status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 3, 142-152. (In Persian)
- Hazbavi, Z., Keesstra, S. D., Nunes, J. P., Baartman, J. E., Gholamalifard, M., & Sadeghi, S. H. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*, 93, 781-790. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.078>
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R., Gholamalifard, M., & Davudirad, A.A. (2020). Watershed health assessment using the pressure–state–response (PSR) framework. *Land Degradation and Development*, 31, 3-1. <https://doi.org/10.1002/ldr.3420>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment*

- Report of the Intergovern–Mental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US.
- Liang, J., Crowther, T. W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., ..., & Reich, P. B. (2016). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354(6309), aaf8957. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8957>
- Ma, L., Bo, J., Li, X., Fang, F., & Cheng, W., (2019). Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: the middle and lower reaches of Shule River Basin as an example. *Science of the Total Environment*, 674, 424–438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.107>
- Mahdavi M. (2009). *Applied Hydrology. second volume*. University of Tehran. 437 pp. (In Persian)
- Mosaffaie, J. (2015). Comparison of two methods of regional flood frequency analysis by using L-moments. *Water Resources*, 42(3), 313–321. <https://doi.org/10.1134/S0097807815030112>
- Mosaffaie, J., Jam, A.S., Tabatabaei, M.R., & Kousari, M.R. (2021). Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. *Land Use Policy*, 100(104911). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104911>
- Ran, C., Wang, S., Bai, X., Tan, Q., Wu, L., Luo, X., ..., & Lu, Q. (2021). Evaluation of temporal and spatial changes of global ecosystem health. *Land Degradation & Development*, 32(3), 1500-1512. <https://doi.org/10.1002/ldr.3813>
- Rapport, D. J., Gaudet, C. L., Constanza, R., Epstein, P. R., & Levins, R. (Eds.). (2009). *Ecosystem health: principles and practice*. John Wiley & Sons.
- Ratha, D., & Agrawal, V.P. (2015). A digraph permanent approach to evaluation and analysis of integrated watershed management system. *Journal of Hydrology*, 1(525), 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.046>
- Saaduddin, A., Shahabi, M., & Bai, M. (2017). *Evaluation and comprehensive management of watersheds, principles and approaches of modeling and decision making*. Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 170 p.
- Sadeghi, S. H., Khaledi Darvishan, A., Vafakhah, M., Moradi Rekabdarkolaei, H., Hazbavi, Z., Rajabi, M., ... & Pournabi, S. (2023). Conceptualization and Evaluation of Asiabrood Watershed Health, Chalus Township, Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 14(27), 15-25. <https://doi.org/10.61186/jwmr.14.27.15> (In Persian)
- Sadeghi, S.H., & Hazbavi, Z. (2017). Spatiotemporal variation of watershed health propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought index (case study: Shazand Watershed in Iran). *Science of the Total Environment*, 587, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.098>
- Sadeghi, S.H., Chamani, R., Silabi, M.Z., Tavosi, M., Katebikord, A., Darvishan, A. K., ..., & Rekabdarkolaei, H.M. (2023). Watershed health and ecological security zoning throughout Iran. *Science of the Total Environment*, 905, 167123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167123>
- Sadeghi, S.H., Hazbavi, Z., & Gholamalifard, M. (2019). Zonation of health dynamism for the Shazand Watershed based on low and high flow discharges. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 589-608. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120288.1427> (In Persian)
- Sadeghi, S. H., Tavoosi, M., Zare, S., Beiranvandi, V., Shekohideh, H., 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. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.78150.1190> (In Persian)

- Smithson, P. A. (2002). *IPCC, 2001: climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by JT Houghton, Y. Ding, DJ Griggs, M. Noguer, PJ van der Linden, X. Dai, K. Maskell and CA Johnson (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. No. of pages: 881.
- Tavakoli, M., Karimi, H., & Norollahi, H. (2018). Investigation the effects of climate change on water resources of Ilam Dam Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(2), 157-170. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.109322.1264> (In Persian)
- Tsai, Y. W., Lin, J. Y., & Chen, Y. C. (2021). Establishment of the watershed health indicators and health check of reservoirs. *Ecological Indicators*, 127, 107779. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107779>
- Wang G, Mang S, Cai H, Liu S, Zhang Z, Wang L, & Innes JL (2016) Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*. 27, 967–994. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>
- Wilcox, R.R. (2012). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing*. Academic Press.
- Wilcox, R.R., & Keselman, H.J. (2003). Modern robust data analysis methods: measures of central tendency. *Psychological Methods*, 8(3), 254.
- Zwillinger, D. (2002). CRC standard mathematical tables and formulae. Chapman and hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420035346>

## An overview of the effects of climate change on watersheds and adaptation strategies

Maryam Rezaei\*

Researcher, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran

\* Corresponding author: [maryamm\\_rezaei@yahoo.com](mailto:maryamm_rezaei@yahoo.com)

(Received: 12 April 2024

Revised: 20 July

Accepted: 05 August 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Climate change and its consequences are significant concerns for Iran and the world, making it essential to assess vulnerability and develop adaptation strategies. Understanding the potential impact of climate change on hydrological processes at the watershed scale is crucial for watershed management decisions, as most measures to mitigate the impacts of climate change on water resources are implemented at this level. A review of research on the effects of climate change on water resources indicates that changes in global climate patterns have significantly impacted precipitation and temperature variations. These changes influence soil erosion through alterations in rainfall intensity, vegetation cover, and surface runoff production.

**Materials and Methods:** The research method is a review, and the tool for data collection is documents and records related to the topic. A broad search of studies in the literature was initially conducted. In the first stage, the search criteria and databases were determined, utilizing databases such as Google Scholar, Elsevier, ScienceDirect, and Springer. The search criterion was the topic of the articles, with keywords including "climate change," "hydrology," "climatic parameters," "mitigation and adaptation," "evapotranspiration," "Greenhouse gases," and "General circulation models". In the second stage, the retrieved articles were categorized and analyzed. A total of 65 articles published in the statistical period (1988 -2024) were examined and reviewed.

**Results and Discussion:** Increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations due to climate change affect the water cycle, as well as the structure and distribution of plants and evapotranspiration. The main concern arising from global warming is that it disrupts the water cycle. Any changes in the rainfall regime and amount, along with variations in temperature and evaporation, affect the nutrition of groundwater. Generally, the groundwater recharge rate will increase in areas experiencing higher rainfall. Studies have shown that the temperature variable will continue to rise in response to global warming until the year 2099 across various countries. Higher temperatures generally lead to an increase in potential evaporation, primarily due to the increased water-holding capacity of the air. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the global average temperature is projected to increase by 1.4 to 5.8 °C by the year 2100, assuming a doubling of atmospheric carbon dioxide concentrations. This rise in temperature is expected to lead to several consequences, including sea level rise, changes in precipitation patterns (up to ±20%), and other alterations in local climate conditions. It is estimated that, during the 20<sup>th</sup> century, the global average sea level increased by 12-22 centimeters. This rise is primarily attributed to the melting of snow cover and mountain glaciers, both of which have declined on average in both hemispheres. Predictions of future precipitation and runoff in different countries indicate that these variables will not follow a clear trend, with increases in some months and decreases in others. Changes in rainfall regimes and amounts, combined with temperature and evaporation variations, affect groundwater recharge. Generally, areas with higher rainfall will experience an increase in groundwater recharge rates.

**Conclusion:** To mitigate the damages caused by climate change, several actions are essential. These include reducing desertification and deforestation, implementing sustainable forest management practices, increasing carbon storage through forest development, and restoring forests and soils. Land preservation and management, using woody plants to combat runoff and soil erosion, and reducing the frequency of floods and landslides are also crucial. Additionally, replacing new coal-fired power stations with clean and renewable energy sources, such as wind and solar power, is necessary. Agroforestry plays a vital role in providing environmental services. It helps maintain forest functions that support watershed management, reduce greenhouse gas concentrations by absorbing atmospheric CO<sub>2</sub> and storing it in plant biomass, and preserve biodiversity. Given its significant benefits, agroforestry is often cited as an example of a "healthy agricultural system."

**Keywords:** Climate Scenarios, Anthropogenic Changes, Greenhouse Gases, Water Resources.

Citation: Rezaei, M. (2025). An overview of the effects of climate change on watersheds and adaptation strategies. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 37-58. doi: 10.22034/iwm.2024.2026335.1147

### 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>).



## مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز و راهکارهای سازگاری با آن

مریم رضائی\*

محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان

تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

\*نویسنده مسئول: [maryamm\\_rezaei@yahoo.com](mailto:maryamm_rezaei@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۴

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** تغییرات اقلیمی و اثرات آن یک نگرانی مهم برای ایران و جهان است؛ بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به تغییرات اقلیمی و توسعه استراتژی‌های سازگاری امری ضروری است. درک تأثیرات پتانسیلی تغییرات اقلیمی بر فرایندهای هیدرولوژیک در مقیاس حوزه آبخیز برای تصمیمات مدیریتی که توسط کارشناسان آبخیزداری انجام می‌شود، بسیار حیاتی است. بیشتر اقدامات برای کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب در سطح حوزه‌های آبخیز انجام می‌شود. مروری بر نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب نشان داد که تغییر الگوی اقلیم جهانی بیشتر بر مقدار و تغییرات بارش و درجه حرارت مؤثر بوده و از طریق تغییر شدت بارندگی، پوشش گیاهی، تولید رواناب سطحی و فرسایش خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

**مواد و روش‌ها:** روش تحقیق در پژوهش حاضر، به صورت مروری و جمع‌آوری اطلاعات، اسناد و مدارک در ارتباط با موضوع است. در مرحله اول پس از تعیین معیارهای موردنظر یک جستجوی وسیع مطالعاتی در پایگاه داده‌های Elsevier, Google Scholar, Science Direct, Springer صورت گرفت. معیار جستجو، موضوع مقالات بود و کلمات کلیدی به کار رفته شامل "تغییرات اقلیمی"، "هیدرولوژی"، "پارامترهای اقلیمی"، "تخفیف و سازگاری"، "تبخیر و تعرق"، "گازهای گلخانه‌ای" و "مدل‌های گردش عمومی" بودند. در مرحله دوم بررسی مقالات، مقالات دسته بندی و تحلیل گردیدند و ۶۵ مقاله در دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۲۴)، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند.

**نتایج و بحث:** افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) جو از طریق تغییرات اقلیمی، تأثیراتی بر بیلان آبی و تغییرات در ساختار و توزیع گیاهان و تبخیر و تعرق دارد. نگرانی اصلی ناشی از گرمایش جهانی این است که چرخه آب را تغییر می‌دهد. هرگونه تغییر در رژیم و مقدار بارندگی، همراه با تغییرات دما و تبخیر و تعرق، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. به طور کلی، میزان تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که بارندگی می‌یابد، افزایش خواهد یافت. مروری بر مطالعات نشان داد که متغیر دما، در پاسخ به گرمایش جهانی تا سال ۲۰۹۹ میلادی، در کشورهای مختلف روند افزایشی خواهد داشت و افزایش دما منجر به افزایش تبخیر پتانسیل می‌شود که مهم‌ترین دلیل آن افزایش ظرفیت نگهداری آب در هوا است. به گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیمی (IPCC)، دمای متوسط جهانی تا سال ۲۱۰۰ با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن در جو بین ۱٫۴ تا ۵٫۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. افزایش سطح دریا، تغییر الگوی بارش (تا ±۲۰٪) و تغییرات دیگر در شرایط آب و هوایی محلی از جمله تبعات افزایش دمای جهانی می‌باشند. تخمین زده شده است که در قرن بیستم، میانگین کلی سطح دریا در مقیاس جهانی ۲۲-۱۲ سانتی‌متر افزایش یابد. این افزایش ناشی از ذوب شدن پوشش برف و یخچال‌های کوهستانی است (هر دو به طور متوسط در هر دو نیم‌کره کاهش یافته‌اند). نتایج پیش‌بینی بارش و رواناب در کشورهای مختلف برای دوره‌های آبی نیز نشان داد که متغیرهای ذکر شده روند مشخصی نداشته و در بعضی ماه‌ها افزایش و در بعضی از ماه‌ها کاهش خواهند یافت. هرگونه تغییر در رژیم و مقدار بارندگی، همراه با تغییرات دما و تبخیر و تعرق، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد و میزان تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که بارندگی افزایش می‌یابد، افزایش خواهد یافت.

**نتیجه‌گیری:** از اقدامات کاهش آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی به‌عنوان بخشی از فعالیت‌های مدیریت منابع آب و خاک می‌توان به کاهش بیابان‌زایی و تخریب جنگل، مدیریت پایدار جنگل، افزایش ذخیره کربن از طریق توسعه جنگل، بازسازی جنگل و خاک، حفظ و مدیریت اراضی، استفاده از گیاهان چوبی به‌منظور مقابله با رواناب و فرسایش خاک، کاهش در فراوانی سیلاب‌ها و زمین‌لغزش‌ها همچنین می‌توان به جایگزینی نیروگاه‌های سوخت فسیلی با منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر (بادی یا خورشیدی) اشاره نمود. اگر وفارستری کمک بسیار مهمی به خدمات زیست‌محیطی از جمله حفظ عملکرد جنگل در حمایت از مدیریت آبخیزداری، کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای از طریق جذب دی‌اکسید کربن در جو و انباشته شدن آن در شکل زیتوده گیاهی و حفظ تنوع زیستی می‌کند. با توجه به اهمیت این نقش، اگر وفارستری اغلب به‌عنوان نمونه‌ای از "سیستم کشاورزی سالم" استفاده می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** سناریوهای اقلیمی، فعالیت‌های انسانی، گازهای گلخانه‌ای، منابع آب.

استناد: رضائی، م. (۱۴۰۴). مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز و راهکارهای سازگاری با آن. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵۸-۳۷.

### حق چاپ:



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

## مقدمه

تغییر اقلیم<sup>۱</sup>، یک چالش جدی زیست‌محیطی است و دمای سطح زمین را از اواخر قرن نوزدهم تقریباً ۰/۸۶۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داده است و انتظار می‌رود که این روند افزایشی در طول قرن بیست‌ویکم همچنان ادامه داشته باشد. تخمین زده می‌شود که میانگین کل سطح آب دریاها بین ۱۲ تا ۲۲ سانتی‌متر افزایش یابد، این افزایش به دلیل ذوب‌شدن پوشش برف و یخچال‌های طبیعی کوهستانی (هر دو به‌طور متوسط در هر دو نیمکره کاهش یافته‌اند) ایجاد شده است (IPCC, 2007<sup>۲</sup>). این تغییرات همچنین ممکن است باعث تغییر در الگوی بارش، افزایش سطح آب دریا و تشدید وقایع جوی شود. تغییرات در الگوهای بارش علاوه بر اینکه بر کیفیت و کمیت منابع آب تأثیر می‌گذارد (Abd Ellah, 2020)، روی سلامت بوم‌سازگان و عملکرد اکولوژیکی نیز مؤثر است (Malekmohammadi et al., 2023).

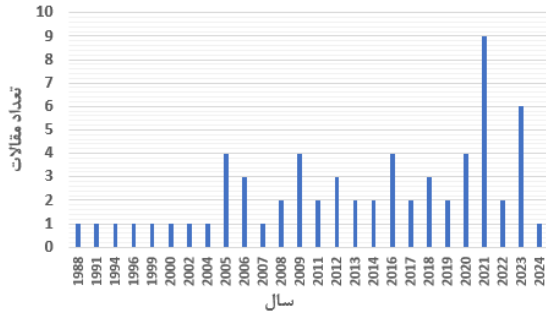
تأثیر متقابل بین تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی تأثیرات شدیدی بر اکوسیستم‌های مختلف آبی از جمله دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، اقیانوس‌ها و به‌ویژه سفره‌های زیرزمینی دارد و کیفیت، کمیت، سلامت و عملکرد آن‌ها را تغییر می‌دهند (Bekele et al., 2018). همچنین فراوانی سیل و دبی متوسط سالانه را تغییر می‌دهد و بر تبخیر و تعرق، ظرفیت نفوذپذیری خاک، فرسایش خاک و رژیم‌های جریان سطحی و زیرسطحی تأثیر می‌گذارد (Getu Engida et al., 2021).

حوزه آبخیز یک واحد هیدرولوژیکی برای فعالیت‌های مدیریت منابع آب است که باید با رویکرد و تلاش مناسب مدیریت شود (Ikhlas & Ramadan, 2023). فرسایش خاک در مقیاس حوضه، یکی از دلایل اصلی تخریب زمین و هدررفت خاک، ناشی از تغییرات آب‌وهوایی است؛ بنابراین مدیریت مؤثر حوزه آبخیز برای حفظ و پایداری منابع آب به‌ویژه در مناطق با

احتمال خشکسالی و منابع آب محدود، برای بهبود جریان رودخانه، حاصلخیزی خاک، حفظ منابع آب‌و خاک و معیشت برای آبخیزنشینان به‌منظور مقابله و کاهش اثرات منفی حاصل از پدیده تغییر اقلیم ضروری است. بررسی اثرات تغییرات اقلیمی در حوزه‌های آبخیز برای درک اثرات آن بر هیدرولوژی، بوم‌شناسی و منابع آب بسیار ضروری است. اهدافی که پژوهش حاضر دنبال می‌کند شامل بررسی این مطلب است که چگونه تغییرات اقلیمی الگوهای بارش، دما، مقادیر تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی، تغییرات ذخیره، تغذیه آب‌های زیرزمینی و الگوهای رواناب را تغییر می‌دهد. همچنین شناسایی و ارائه راهبردهای مؤثر سازگاری برای کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی در حوزه‌های آبخیز مختلف است.

## مواد و روش‌ها

مقاله حاضر بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر فرآیند هیدرولوژی و پارامترهای هواشناسی حوزه‌های آبخیز مختلف در دنیا را نشان می‌دهد. مسائل اصلی مورد ارزیابی در پژوهش حاضر شامل اثر تغییرات اقلیمی بر تبخیر و تعرق، تغییرات در بارش، ترکیب و ویژگی‌های پوشش گیاهی، ویژگی‌های جریان رودخانه و تغییرات در ذخیره و تغذیه سفره آب زیرزمینی بسته به نتایج تحقیقات و مطالعات موردی مدل‌سازی اقلیم و هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز مختلف است. با توجه به اهداف موردنظر در این پژوهش و ماهیت مروری این مقاله، سعی گردید که در ابتدا جستجوی وسیع مطالعاتی در منابع صورت گیرد. روش تحقیق، به‌صورت مروری و ابزار جمع‌آوری اطلاعات، اسناد و مدارک در ارتباط با موضوع است. در مرحله اول، معیارهای جستجو و پایگاه داده‌ها تعیین شدند و از پایگاه داده‌های (Elsevier, GoogleScholar) و (Springer و ScienceDirect) استفاده شد. معیار



شکل ۲- تعداد مقالات مروری بر اساس سال انتشار در پژوهش حاضر

Figure 2- Number of reviewed papers by publication year in the current research

### معرفی مدل‌های تغییر اقلیم

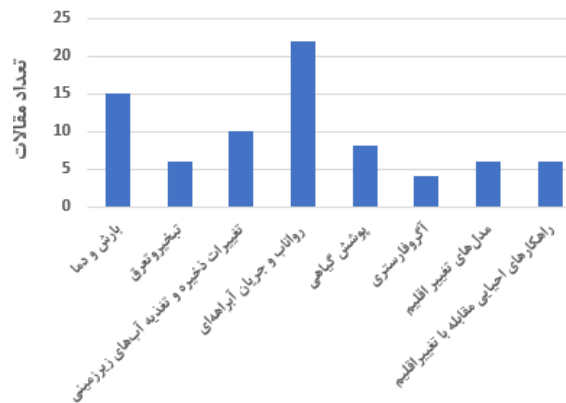
در طی دهه‌های اخیر مدل‌های گردش عمومی (GCM) <sup>۳</sup> بسیاری در کشورهای مختلف دنیا توسعه یافته و این مدل‌ها در قالب پروژه جهانی CMIP <sup>۴</sup> با یک چارچوب مشترک جهت ارتقاء دانش تغییر اقلیم و نیز ارتقاء عملکرد مدل‌های اقلیمی ارائه شده‌اند (Ahmadian & Montaseri, 2022). به طوری که در سال‌های اخیر نسل جدیدی از مدل‌های اقلیمی به نام مدل‌های زمین <sup>۵</sup> جهت کاهش عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی پیشین (CMIP3) در قالب پروژه جهانی CMIP5 و CMIP6 توسعه یافته یا در حال توسعه است (Breshears *et al.*, 2005). فهرست تعدادی از مدل‌های CMIP5 در جدول شماره ۱، ارائه شده است (Tsfaye *et al.*, 2023).

جدول ۱- فهرست مدل‌های CMIP5 (Tsfaye *et al.*, 2023)

Table 1- List of CMIP5 models (Tsfaye *et al.*, 2023)

ردیف	مدل	کشور	قدرت تفکیک	ردیف	مدل	کشور	قدرت تفکیک
۱	ACCESS1.0	استرالیا	۱/۲۵°×۱/۹°	۱۹	GFDL-ESM2M	آمریکا	۲°×۲/۵°
۲	ACCESS1.3	چین	۱/۲۵°×۱/۹°	۲۰	GISS-E2-H	آمریکا	۲°×۲/۵°
۳	BCC-CSM1.1	چین	۲/۸°×۲/۸°	۲۱	GISS-E2-R	آمریکا	۲°×۲/۵°
۴	BCC-CSM1.1(m)	کانادا	۱/۱۲°×۱/۱۲°	۲۲	HadCM3	انگلستان	۲/۵°×۳/۷۵°
۵	BNU-ESM	کانادا	۲/۸°×۲/۸°	۲۳	HadGEM2-AO	انگلستان	۱/۲۵°×۱/۹°
۶	CanCM4	آمریکا	۲/۸°×۲/۸°	۲۴	HadGEM2-CC	انگلستان	۱/۲۵°×۱/۹°

جستجو، موضوع مقالات بود و کلمات کلیدی بکار رفته شامل "تغییرات اقلیمی"، "هیدرولوژی" و "پارامترهای اقلیمی" و "تعدیل و سازگاری"، "تبخیر و تعرق"، "گازهای گلخانه‌ای" و "مدل‌های گردش عمومی" بودند. در مرحله دوم بررسی مقالات، مقالات جستجو و دسته‌بندی شدند و از میان مقالات موجود، در نهایت ۶۵ مقاله در دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۲۴)، با موضوعاتی شامل اثر تغییر اقلیم بر رواناب و جریان رودخانه‌ای، بارش، دما، تبخیر و تعرق، تغییرات ذخیره و تغذیه آب‌های زیرزمینی، آگروفرستری، مدل‌های تغییر اقلیم، راهکارهای احیایی مقابله با تغییر اقلیم و پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز مختلف که باهدف پژوهش حاضر همخوانی داشتند، انتخاب و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱- طبقه‌بندی مقالات مروری بر اساس موضوع مورد استفاده در پژوهش حاضر

Figure 1- Classification of reviewed papers by topic in the current research

							رضائی
۱/۲۵°×۱/۹°	انگلستان	HadGEM2-ES	۲۵	۲/۸°×۲/۸°	آمریکا	CanESM2	۷
۱/۵°×۱/۲°	روسیه	INMCM4	۲۶	۰/۹۴°×۱/۲۵°	آمریکا	CCSM4	۸
۱/۹°×۳/۷۵°	فرانسه	IPSL-CM5A-LR	۲۷	۰/۹۴°×۱/۲۵°	آمریکا	CESM1(BGC)	۹
۱/۲۵°×۲/۵°	فرانسه	IPSL-CM5A-MR	۲۸	۰/۹۴°×۱/۲۵°	آمریکا	CESM1(CAM5)	۱۰
۱/۹°×۳/۷۵°	فرانسه	IPSL-CM5B-LR	۲۹	۰/۷۵°×۰/۷۵°	ایتالیا	CMCC-CM	۱۱
۲/۸°×۲/۸°	ژاپن	MIROC5	۳۰	۱/۹°×۱/۹°	ایتالیا	CMCC-CMS	۱۲
۲/۸°×۲/۸°	ژاپن	MIROC-ESM	۳۱	۱/۴°×۱/۴°	فرانسه	CNRM-CM5	۱۳
۱/۴°×۱/۴°	ژاپن	MIROC-ESM-CHEM	۳۲	۱/۹°×۱/۹°	استرالیا	CSIRO-Mk3.6.0	۱۴
۱/۹°×۱/۹°	آلمان	MPI-ESM-LR	۳۳	۱/۱°×۱/۱°	چندگانه	EC-EARTH	۱۵
۱/۹°×۱/۹°	آلمان	MPI-ESM-MR	۳۴	۲/۸°×۲/۸°	چین	FGOALS-g2	۱۶
۱/۱°×۱/۱°	ژاپن	MRI-CGCM3	۳۵	۲°×۲/۵°	آمریکا	GFDL-CM3	۱۷
۱/۹°×۲/۵°	نروژ	NorESM1-M	۳۶	۲°×۲/۵°	آمریکا	GFDL-ESM2G	۱۸

شبیه‌سازی وقایع حدی و الگوهای روند آن‌ها نسبت به مدل‌های CMIP5 دارند (Chen et al., 2020).

در جدول ۲، نیز فهرستی از تعدادی از مدل‌های CMIP6 به نقل از (Almazroui et al., 2020)، ارائه شده است. مدل‌های CMIP6 بهبود کلی در

جدول ۲- فهرست مدل‌های CMIP6 (Almazroui et al., 2020)

Table 2- List of CMIP6 models (Almazroui et al., 2020)

قدرت تفکیک	کشور	مدل	ردیف	قدرت تفکیک	کشور	مدل	ردیف
۱/۳°×۰/۹°	چین	FIO-ESM-2-0	۱۴	۱/۹°×۱/۲°	استرالیا	ACCESS-ESM1-5	۱
۱/۳°×۱°	آمریکا	GFDL-ESM4	۱۵	۱/۱°×۱/۱°	چین	BCC-CSM2-MR.3	۲
۲°×۱/۵°	روسیه	INM-CM4-8	۱۶	۱/۱°×۱/۱°	چین	CAMS-CSM1-0	۳
۲°×۱/۵°	روسیه	INM-CM5-0	۱۷	۲/۸°×۲/۸°	کانادا	CanESM5	۴
۲/۵°×۱/۳°	فرانسه	IPSL-CM6A-LR	۱۸	۱/۳°×۰/۹°	آمریکا	CESM2	۵
۱/۴°×۱/۴°	ژاپن	MIROC6	۱۹	۱/۳°×۰/۹°	آمریکا	CESM2-WACCM	۶
۲/۸°×۲/۸°	ژاپن	MIROC-ES2L	۲۰	۱/۴°×۱/۴°	فرانسه	CNRM-CM6-1	۷
۰/۹°×۰/۹°	آلمان	MPI-ESM1-2-HR	۲۱	۰/۵°×۰/۵°	فرانسه	CNRM-CM6-1-HR	۸
۱/۹°×۱/۹°	آلمان	MPI-ESM1-2-LR	۲۲	۱/۴°×۱/۴°	فرانسه	CNRM-ESM2-1	۹
۱/۱°×۱/۱°	ژاپن	MRI-ESM2-0	۲۳	۰/۷°×۰/۷°	اروپا	EC-Earth3	۱۰
۱/۹°×۱/۹°	چین	NESM3	۲۴	۰/۷°×۰/۷°	اروپا	EC-Earth3-Veg	۱۱
۲/۵°×۱/۹°	نروژ	NorESM2-LM	۲۵	۱/۳°×۱°	چین	FGOALS-f3-L	۱۲
۱/۹°×۱/۳°	انگلستان	UKESM1-0-LL	۲۶	۲°×۲/۳°	چین	FGOALS-g3	۱۳

## نتایج و بحث

### – اثر تغییر اقلیم بر رواناب و جریان رودخانه‌ای در حوزه‌های آبخیز مختلف

آبخیز مانند پوشش موجود در دریاچه و زمین‌شناسی کنترل می‌شوند؛ بنابراین اهمیت نسبی تغییرات اقلیمی بسته به منطقه متفاوت است و به حساسیت فعلی رژیم هیدرولوژیکی به تغییرات دما و بارش منطقه بستگی دارد.

تغییر اقلیم می‌تواند رژیم جریان و بیلان رسوبی حوزه‌های آبخیز را تغییر دهد (Erol & Randhir, 2012). رژیم جریان رودخانه‌ای در درجه اول توسط الگوهای فصلی دما و بارش و همچنین ویژگی‌های حوزه

اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم تأثیر مهمی بر انواع حوزه‌های آبخیز خواهد داشت، به‌عنوان مثال، افزایش

شده و تعداد رویدادهای طوفانی منجر به افزایش فراوانی و حجم جریان سیلابی در فصول بارانی خواهد شد. فصول گرم‌تر، خشک‌تر پیش‌بینی شده و همچنین نگرانی‌هایی را در مورد افزایش احتمالی تعداد و بزرگی روزهای کم جریان ایجاد می‌کند ( Loukas *et al.*, 2002). در تحقیقاتی (Kundzewicz *et al.*, 2005) و

شده و تعداد رویدادهای طوفانی منجر به افزایش فراوانی و حجم جریان سیلابی در فصول بارانی خواهد شد. فصول گرم‌تر، خشک‌تر پیش‌بینی شده و همچنین نگرانی‌هایی را در مورد افزایش احتمالی تعداد و بزرگی روزهای کم جریان ایجاد می‌کند ( Loukas *et al.*, 2002). در تحقیقاتی (Kundzewicz *et al.*, 2005) و

جدول ۳- بیشینه جریان رودخانه‌ای سالانه برای ۱۹۵ ایستگاه هیدرومتری در سراسر جهان مرتبط با تغییرات اقلیمی

(Kundzewicz *et al.*, 2005)

Table 3 - Annual maximum stream flow for 195 global stream Gauging stations and climate change (Kundzewicz *et al.*, 2005)

منطقه	تعداد ایستگاه‌ها	تعداد مناطق دارای روند افزایشی	تعداد مناطق بدون روند	تعداد مناطق دارای روند کاهشی
آفریقا	۴	۱	۱	۲
آسیا	۸	۰	۵	۳
آمریکای شمالی	۳	۰	۳	۰
آمریکای جنوبی	۷۰	۱۴	۴۴	۱۲
استرالیا	۴۰	۱	۳۴	۵
اروپا	۷۰	۱۱	۵۰	۹
جمع کل	۱۹۵	۲۷ (۱۴ درصد)	۱۳۷ (۷۰ درصد)	۳۱ (۱۶ درصد)

نتایج جدول (۳)، نشان داد که در آمریکای شمالی، روندهای افزایشی قابل توجهی در AMF در مناطق شمالی و شرقی مشاهده می‌شود. این تغییرات به افزایش بارش و ذوب برف به دلیل افزایش دما مرتبط است. در مقابل، برخی مناطق در غرب، کاهش روندها را نشان می‌دهند که احتمالاً به دوره‌های طولانی خشکسالی و کاهش ذخایر برف مرتبط است. ایستگاه‌های اروپایی الگوی ناهمگونی نشان دادند، با افزایش‌های قابل توجه در AMF در شمال و مرکز اروپا که با بارش‌های بیشتر زمستانی و وقایع جوی شدیدتر مرتبط است. جنوب اروپا ترکیبی از روندهای ثابت و کاهشی را نشان می‌دهد که احتمالاً به کاهش بارش و افزایش میزان تبخیر و تعرق مرتبط است. در آسیا، مطالعه افزایش‌های قابل توجهی در AMF در مناطق تحت تأثیر مونسون، به‌ویژه در جنوب و جنوب شرق

آسیا، به دلیل بارش‌های شدیدتر مونسون شناسایی می‌کند. در مقابل، برخی ایستگاه‌های آسیای مرکزی و شمالی روندهای کاهشی را گزارش می‌کنند که احتمالاً به تغییرات الگوهای بارش و افزایش برداشت آب برای کشاورزی و صنعت مرتبط است. ایستگاه‌های آفریقایی الگوهای متنوعی را نشان می‌دهند، با افزایش AMF در برخی مناطق مانند شرق آفریقا که به وقایع بارش شدیدتر مرتبط است. باین‌حال، سایر مناطق، به‌ویژه در ساحل و جنوب آفریقا، روندهای کاهشی را تجربه می‌کنند که تغییرات در الگوهای بارش و افزایش مقدار تبخیر و تعرق را منعکس می‌کند. در آمریکای جنوبی افزایش AMF در حوضه آمازون به دلیل بارش بیشتر رخ می‌دهد، در حالی که مناطق آندین افزایش و کاهش‌های مختلطی را نشان می‌دهند که تحت تأثیر ذوب یخچال‌ها و تغییرات دینامیک بارش است.

تحقیقات متعددی در رابطه با اثرات تغییرات اقلیمی بر رواناب و جریان رودخانه‌ای صورت گرفته است؛ که جدول (۴)، برخی از این تحقیقات را به اختصار ارائه می‌دهد.

همچنین در استرالیا و اقیانوسیه، افزایش در AMF در مناطق شمالی مشاهده می‌شود که با فعالیت بیشتر طوفان‌های گرمسیری و بارش‌ها مرتبط است. مناطق جنوبی، اما روندهای کاهشی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده دوره‌های طولانی خشکسالی و کاهش جریان‌های سطحی است.

#### جدول ۴- مطالعات مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب و جریان رودخانه‌ای

Table 4 - Modeling studies on the impacts of climate change on runoff and streamflow

نتایج	منطقه مورد مطالعه	نام محققین
- افزایش میزان رواناب در پاییز و زمستان و کاهش آن در بهار و تابستان در حوزه آبخیز کمبل بالایی <sup>۷</sup> ، - افزایش سهم جریان ذوب برف در تولید رواناب در زمستان و کاهش آن در بهار در حوزه آبخیز ایلکیلووات <sup>۸</sup> ، - افزایش حدود ۳/۵ درجه سانتی‌گراد در دمای میانگین سالانه در حوزه آبخیز کمبل بالایی و ۴/۱ درجه سانتی‌گراد برای حوزه آبخیز ایلکیلووات - کاهش ده درصدی در تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در حوزه آبخیز کمبل بالایی و یک درصدی برای حوزه آبخیز ایلکیلووات	بریتیش کلمبیا در کانادا	Loukas <i>et al.</i> , 2002
- نوسانات قابل توجه سطح دریاچه و جریان رودخانه به دلیل نوسانات بارندگی - عدم وجود نشانه واضح از چگونگی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه نیل به دلیل عدم قطعیت در الگوهای بارش و تأثیر ساختارهای پیچیده مدیریت آب	حوضه نیل در مصر	Conway, 2005
- افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش میانگین بارش ماهانه و سالانه به ترتیب به میزان ۲۹ و ۹/۴ درصد تا پایان قرن بیست و یکم - امکان کاهش حجم میانگین سالانه ورودی به دریاچه زیوای تا ۱۹/۴۷ درصد برای سناریو A2a و B2a ۲۷/۴۳ درصد برای B2a	حوزه آبخیز دریاچه زیوای	Abraham <i>et al.</i> , 2006
- کاهش رواناب سالانه بر اساس مدل‌های GFDL2.3 UK89 و CCCM به ترتیب تا ۱۸/۲ و ۱۲/۶ درصد - افزایش ده درصدی در تبخیر و تعرق سالانه	حوضه دریاچه تانا در اتیوپی	Tarekegn & Tadege, 2006
- کاهش رواناب در حوزه‌های آبخیز آفریقای جنوبی - افزایش بیست درصدی در فراوانی خشکسالی‌ها و تحت تأثیر قرار گرفتن مناطق شمالی و جنوبی آفریقا به خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تر - شناسایی یک منطقه ناپایدار بحرانی بین سنگال و سودان	کشورهای آفریقای	De Wit & Stankiewicz, 2006
- کاهش معنی‌داری در جریان رودخانه‌ای در کشورهای جنوب آفریقا بر اساس تجزیه و تحلیل پنج مدل آب‌وهوایی (CSIRO2 <sup>۹</sup> ، HadCM3 <sup>۱۰</sup> ، ECHAM.CGCM2 <sup>۱۱</sup> و PCM <sup>۱۲</sup> )	کشورهای آفریقای	Bates <i>et al.</i> , 2008
- در صورت تغییر چهار درجه سانتی‌گرادی دما، کاهش رواناب فصلی و سالانه به ترتیب ۳/۳ و ۴ درصد خواهد بود.	اتیوپی	Abdo <i>et al.</i> , 2009

7- Upper Campbell

8- Illecillewaet catchment

9- CSIRO2: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, version 2

10- HadCM3: Hadley Centre Coupled Model version 3

11- CGCM2: Coupled General Circulation Model, version 2

12- PCM: Parallel Climate Model

- افزایش هم‌زمان دو درجه سانتی‌گراد دما با کاهش ۱۰ درصد بارش موجب کاهش رواناب فصلی و سالانه ۱۷/۷ درصد خواهد شد.		
- کاهش حجم رواناب در فصل بارانی به‌طور تقریبی ۱۱/۶ و ۱۰/۱ درصد برای سناریوهای A2 و B2 برای دهه ۲۰۸۰		
- افزایش جریان سالانه نیل تا میزان حدود ۱/۵ درصد - کاهش میزان بارش به میزان پنج درصد در زیر حوزه مندایا <sup>۱۳</sup>	مصر	Soliman <i>et al.</i> , 2009
- میزان جریان متوسط سالانه در حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی افزایش خواهد یافت و بیشترین افزایش در بهار و تابستان رخ می‌دهد. - افزایش تبخیر و تعرق به میزان ۱۵ درصد تا پایان قرن بیست و یکم	آمریکای شمالی	Erol & Randhir, 2012
- کاهش سالانه در جریان رودخانه گبا به میزان ۲۳/۱، ۳۵/۸ و ۵۰/۲ درصد برای سناریو اقلیمی A2 و به میزان ۲۶/۱، ۳۶/۶ و ۴۲/۷ درصد برای سناریو اقلیمی B2 در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰	اتیوپی	Goitom <i>et al.</i> , 2012
- کاهش میانگین جریان رودخانه‌ای سالانه در حوضه آبریز گبیه، حدود ۱/۳ تا ۳/۵ درصد - مدل ECHAM5 در هر دو سناریو A2 و B1 کاهش جریان را برای تمام ماه‌ها به جز ماه اوت پیش‌بینی کرده است. در ماه اوت، جریان به ترتیب ۳/۸ و ۴/۵ درصد در دوره (۲۰۴۱-۲۰۷۰)، برای سناریوهای A2 و B1 افزایش می‌یابد.	اتیوپی	Demissie <i>et al.</i> , 2013
- متوسط رواناب سالانه بلندمدت در سه دوره آتی در حوزه آبخیز آیدوگموش در استان آذربایجان شرقی نسبت به دوره پایه، کاهش می‌یابد. کاهش حجم کل رواناب نسبت به دوره پایه به جریان‌های متوسط و زیاد مرتبط می‌شود و در جریان‌های کم، حجم کل رواناب سه دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) نسبت به دوره پایه، به ترتیب به میزان ۴۷، ۴۱ و ۱۴ درصد افزایش می‌یابد.	ایران	Ashofteh & Bozorg Hadad, 2014
- کاهش به ترتیب ۳۲/۶۲ و ۳۲/۴۰ درصدی دبی سناریوی A2 و B2 در دوره (۲۰۴۰-۲۰۱۱) در حوضه آبریز قره‌سو نسبت به دوره پایه - در سناریوی A2 بیشترین رواناب در فروردین ماه (۲۷/۴۲ لیتر بر ثانیه) و کمترین میزان رواناب در مردادماه (۶/۲۴ لیتر بر ثانیه) رخ خواهد داد و ۳۳ درصد رواناب رودخانه نسبت به دوره پایه، کاهش خواهد داشت.	ایران	Malmir <i>et al.</i> , 2016
- بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه زربنه‌رود طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۵ با استفاده از میانگین نتایج ۱۴ مدل AOGCM - افزایش رواناب در ورودی سد زربنه‌رود در ماه‌های بهمن و اسفند و افزایش آبدهی در حوضه میانی در پائیز و زمستان و کاهش ۲۸ و ۱۶ درصدی رواناب به ترتیب در محل‌های ورودی به سد زربنه‌رود و حوضه میانی	ایران	Mansouri <i>et al.</i> , 2016
- حجم رواناب خروجی هر یک از زیر حوزه‌ها در حوزه آبریز توپسرکان همدان کاهش خواهد یافت به‌طوری‌که از ۴۰/۵ میلیون مترمکعب در دوره پایه به ۳۴/۹ و ۳۵/۸ میلیون مترمکعب در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت سناریوهای A1B و B1 خواهد رسید.	ایران	Poormohammadi <i>et al.</i> , 2017
در استان خوزستان ۸۳ درصد تغییرات دبی خروجی توسط بارش، خشکسالی و دمای حداکثر تحت تأثیر قرار گرفته است و در محدوده حوضه در خارج استان، ۸۲ درصد تغییرات دبی، ناشی از به ترتیب بارش، دمای حداکثر و خشکسالی است.	ایران	Saeedifar <i>et al.</i> , 2021
پیش‌بینی افزایش جریان رودخانه‌ای در حوزه آبخیز مکانگ در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۹۳ به میزان ۱۰/۵ تا ۲۳/۲ درصد و کاهش جریان آب در فصل خشک به دلیل افزایش دما	جنوب شرقی آسیا	Li & Fang, 2021
کاهش جریان رودخانه‌ای از ۳۴ تا ۶۰ درصد تا پایان قرن ۲۱ و احتمال کاهش آب زیرزمینی از ۷۴ تا ۹۲ درصد در بدترین سناریو - کاهش اجزای سطحی و زیرزمینی در مطلوب‌ترین سناریوها به ترتیب ۳۹- و ۲۹- درصد	اسپانیا	Sanchez-Gomez <i>et al.</i> , 2023

## - اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما

تعدادی از پژوهش‌هایی که در رابطه با اثرات تغییرات اقلیمی بر متغیرهای اقلیمی بارش و دما صورت گرفته در جدول (۵)، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که فزایش دما باعث ذوب یخچال‌ها و یخ‌های قطبی شده و به تبع آن، سطح دریاها افزایش یافته است که تهدیدی برای مناطق ساحلی محسوب می‌شود.

الگوهای بارش جهانی نیز در حال تغییر هستند و این تغییرات بسته به منطقه متفاوت است. برخی مناطق مرطوب شاهد افزایش بارش‌های سنگین و سیلاب‌ها هستند که می‌تواند به خسارات گسترده‌ای منجر شود. مناطق خشک و نیمه‌خشک، نظیر مدیترانه و خاورمیانه، کاهش بارش را تجربه می‌کنند که به افزایش خشکسالی و کمبود آب منجر شده است.

## جدول ۵- مطالعات مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما

Table 5 - Modeling studies on the impacts of climate change on precipitation and temperature

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	نتایج
Babaeian <i>et al.</i> , 2009	ایران	- خروجی‌های مدل گردش عمومی ECHO-G با سناریوی A1 برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ را ریزمقیاس نموده و نتایج آن بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور بررسی کردند. نتایج کلی برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، حاکی از کاهش نه درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه‌های بارش سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بود که بیشترین افزایش دما مربوط به ماه‌های سرد سال است.
Malmir <i>et al.</i> , 2016	ایران	- افزایش ۱/۶ درجه‌ای دما و کاهش ۱/۷۷ و ۱/۱ درصدی بارش به ترتیب سناریوی A2 و B2 در حوزه آبریز قره‌سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه
Mansouri <i>et al.</i> , 2016	ایران	- افزایش متوسط درجه حرارت کمینه و بیشینه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۵ - کاهش متوسط بارندگی ماهانه در فصل بهار و افزایش آن در فصل‌های تابستان و پاییز - تغییر شکل بارش زمستانی از برف به باران به دلیل افزایش دما
Heidari & Khazaei, 2018	ایران	- افزایش مقدار بارش حداکثر سالانه کرمانشاه با تداوم‌های یک تا پنج روز - تغییر توزیع فصلی وقوع بارش‌های حداکثر و ماهانه - افزایش بارش‌های حداکثر روزانه با دوره بازگشت دو سال در دوره آینده ۲۰۹۴-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه ۱۹۹۲-۱۹۶۳ برای سناریوهای انتشار مختلف بین ۶ تا ۱۵ درصد
Mortazavifar <i>et al.</i> , 2019	ایران	- کاهش بارش متوسط سالانه در هر دو ایستگاه بابلسر و قراخیل و افزایش دمای متوسط سالانه به طوری که در دوره ۲۱۰۰-۲۰۶۹ تحت سناریو (RCP 8.5) بدبینانه، در ایستگاه بابلسر و قراخیل، بارش متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۵۱/۰۷ و ۳۴/۷ درصد بیشترین کاهش و دمای متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۴۴/۳ و ۸۶/۳ درجه سانتی‌گراد بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه نشان داده است.
Ibay-Yupa <i>et al.</i> , 2021	حوزه آبریز گووایاس در اکوادور	- افزایش دما به میزان دو درجه سانتی‌گراد و بارش شش درصد در دوره (۲۰۷۹-۲۰۵۰) - افزایش میانگین بارندگی ماهانه بین ۰/۳ تا ۱۴ درصد بین نوامبر و جولای و کاهش بین ۰/۳ تا ۱۰ درصد بین آگوست و اکتبر
Mboka <i>et al.</i> , 2021	اسپانیا	- افزایش دماهای بیشینه و کمینه در نیمه قرن ۲۱، از تمام سناریوهای انتشار (A2، A1B و B1) بین ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد بسته به سناریوهای مختلف و برای انتهای قرن در سناریوهای (A2، A1B و B1) به ترتیب برای دمای بیشینه ۳/۷۵، ۳/۳ و ۲/۱ درجه سانتی‌گراد و برای دمای کمینه ۳/۱، ۲/۷۵ و ۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.
Zareian, 2022	ایران	- افزایش دمای سالانه یزد و کاهش بارندگی سالانه در تمامی سناریوهای انتشار - دمای سالانه این منطقه در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۲ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش نیز بین ۲/۹ تا ۱۳/۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین بیشترین میزان افزایش دما و کاهش بارندگی در این منطقه، به ترتیب در فصول بهار و فصل پاییز رخ خواهند داد.

### - اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق

در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در رابطه با اثرات تغییرات اقلیمی و توسعه شهری بر تبخیر و تعرق صورت گرفته است که تعدادی از آن‌ها به‌اختصار در جدول (۶)، ارائه شده است. مروری بر مقالات نشان داد که تغییرات در تبخیر و تعرق به‌عنوان شاخصی مهم برای ارزیابی اثرات تغییر

اقلیم بر منابع آب و اکوسیستم‌ها مورد توجه قرار گرفته است. افزایش دما به‌طور مستقیم باعث افزایش پتانسیل تبخیر و تعرق شده است، چراکه تبخیر آب از سطوح آزاد و تعرق از گیاهان تحت تأثیر دما قرار دارد. همچنین، تغییرات در الگوهای بارش نیز می‌تواند منجر به تغییر در رطوبت خاک و در نتیجه تأثیر بر میزان تبخیر و تعرق شود.

### جدول ۶- مطالعات مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق

Table 6 - Modeling Studies on the Impacts of Climate Change on Evapotranspiration

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	نتایج
Pike <i>et al.</i> , 2008	انگلستان	- تا دهه ۲۰۸۰، تقاضای تبخیری جوی تحت سناریوی B1 حدود هشت درصد و تحت سناریوی A2، ۱۵-۲۰ درصد افزایش خواهد یافت و بر بیلان آبی حوضه‌ها تأثیر خواهد گذاشت.
Belay, 2011	حوضه نیل مصر	- افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در دو دوره زمانی آینده در تمام حوضه‌ها برای دوره زمانی اول: ۲۰۳۱-۲۰۴۰ به ترتیب برای بلس ۱۰/۶۶، سچی ۶/۸۶، آنگر ۳/۵۶ و نشی ۳/۵۴ درصد مشاهده گردید. برای دوره زمانی بعدی: ۲۰۹۱-۲۱۰۰ افزایش‌های بیشتری در تمام حوضه‌ها به‌ویژه برای بلس ۲۰/۶۹ درصد و سچی ۲۴/۰۴ درصد مشاهده شد.
Wang <i>et al.</i> , 2012	در ۱۳۰۰ ایستگاه در دنیا	- برای سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۸ نشان داد که تقاضای تبخیری جوی در بیشتر نواحی خشک و نیمه‌خشک، افزایش یافته است که نشان‌دهنده کاهش دسترسی به آب در این مناطق است و تأثیراتی بر بقا و رشد گیاهان از طریق تغییرات در میزان دسترسی به آب می‌گذارد.
Yaghoobzadeh <i>et al.</i> , 2017	ایران	- استفاده از مدل‌های ECHAM5OM، HADCM3 و CGCM3T47 تحت سناریوهای انتشار (A2)، (B1) و (A1B) در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در مزارع دشت نیشابور در هر سه سناریوی انتشار، مقادیر تبخیر-تعرق روزانه در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ افزایش بیشتری خواهد یافت. در بین محصولات مورد تحقیق، گندم با حدود ۱۲ درصد تغییر نسبت به ذرت با ۳ درصد تغییر، بیشترین تغییر تبخیر-تعرق را در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه در طی رشد نشان خواهد داد.
Eltarabily <i>et al.</i> , 2023	آبخوان دلتای نیل در مصر	- در دلتای نیل، تبخیر و تعرق به ترتیب برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به ترتیب ۱۱/۲، ۱۵ و ۱۹ درصد افزایش خواهد یافت. تغذیه آبخوان نیز برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به ترتیب ۱۹/۷۴، ۲۷/۱۶ و ۳۶/۸۴ درصد کاهش خواهد یافت.
Karimi <i>et al.</i> , 2024	ایران	- میزان تبخیر و تعرق مرجع برای دوره پایه و دوره‌های آبی (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، (۲۰۴۹-۲۰۷۴) و (۲۰۷۵-۲۰۹۰)، با استفاده از روش هارگریوز <sup>۱۴</sup> محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان داد که مقدار متوسط تبخیر و تعرق مرجع در تمامی دوره‌ها نسبت به دوره پایه مشاهداتی افزایش می‌یابد. مقدار تبخیر و تعرق مرجع در آینده نزدیک بین ۴/۶۹ تا ۴/۸۲، آینده میانی بین ۴/۷ تا ۴/۹۴ و آینده دور بین ۴/۷۲ تا ۵/۰۴ (میلی‌متر در روز) متغیر خواهد بود.

### - تغییرات ذخیره و تغذیه آب‌های زیرزمینی

نگرانی اصلی ناشی از گرمایش جهانی این است که چرخه آب را تغییر می‌دهد (IPPC, 2007). هرگونه

تغییر در رژیم و مقدار بارندگی، همراه با تغییرات دما و تبخیر و تعرق، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد.

آب‌های زیرزمینی، جریان پایه در فصل‌های خشک کاهش می‌یابد که منجر به کاهش تغذیه یا ذخیره آب زیرزمینی می‌شود (Stewart et al., 2004).

اثر تغییرات آب‌وهوا بر گیاهان نیز بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد؛ با افزایش فراوانی و شدت سیل‌ها، تغذیه آب زیرزمینی ممکن است افزایش یابد، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارش‌های شدید و سیل‌ها منابع اصلی تغذیه آب زیرزمینی هستند (Kundzewicz et al., 2005).

Wang و همکاران (۲۰۲۱)، روابط رگرسیونی بین بارندگی و مقادیر تغذیه آب زیرزمینی برای ۱۰ منطقه ارزیابی کردند. تخمین تغییرات آب‌وهوا نشان می‌دهد که تغییرات آب‌وهوا می‌تواند تغذیه آب زیرزمینی را به میزان ۳۲/۶ درصد افزایش یا ۲۸/۹ درصد در تایوان کاهش دهد.

Hughes و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی، تأثیر آینده تغییرات اقلیمی را بر منابع آب زیرزمینی بررسی کردند. تغییرات در تغذیه فصلی و ماهانه برای دوره‌های زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ برای حوضه‌های رودخانه‌ای انگلیس و ولز مدل‌سازی شد. سری زمانی ماهانه نشان می‌دهد که به‌طور کلی یک‌روند ثابت افزایشی در تغذیه در زمستان، کاهش تغذیه در تابستان و الگوی مختلط در پاییز و بهار وجود دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش باران زمستانی عامل اصلی افزایش تغذیه است.

#### – اثرات تغییر اقلیمی بر پوشش گیاهی

اثرات اقلیمی بر گیاهان می‌تواند پیامدهای کوتاه‌مدت و بلندمدتی بر زیتوده، سلامت درختان و ترکیب گونه‌ها داشته باشد. افزایش فراوانی وقوع تغییرات اقلیمی ممکن است باعث تسریع در جایگزینی گونه‌های حساس درختی شود.

مفهوم برگاب<sup>۱۶</sup> برای میزان بارشی استفاده می‌شود که توسط سطح گیاه نگهداری یا جذب‌شده و سپس به‌طور مستقیم به جو تبخیر می‌شود (Soliman et al.,

به‌طور کلی، میزان تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که بارندگی افزایش می‌یابد، افزایش خواهد یافت.

تغذیه آب زیرزمینی همچنین در مناطقی که یخبندان‌ها آب می‌شوند، افزایش می‌یابد (Kitabata et al., 2006).

بررسی تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر آب زیرزمینی دشوار است زیرا برای توسعه مدل‌های کمی نیاز به اطلاعات زیرسطحی بسیار دقیق است. تغییرات در جریان رودخانه‌ای نیز در مکان‌هایی که آب سطحی منبع اصلی تغذیه است، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر خواهد داشت. بسته به اندازه و عمق آبخوان، هر تغییری در هیدرولوژی آب زیرزمینی ناشی از تغییرات اقلیمی احتمالاً با سرعت کمتری نسبت به تغییرات آب سطحی رخ خواهد داد (Burn et al., 2008). تحقیقات در دره اوکاناگان<sup>۱۵</sup> (بریتیش) نشان می‌دهد که تغذیه مستقیم (عمودی) در امتداد کف دره به‌طور عمده توسط بارش‌های منطقه‌ای (برای مثال، بارش‌های جبهه‌ای) و نه بارش‌های محلی انجام می‌شود (Toews et al., 2009).

به‌طور کلی، تغییرات در تغذیه آبخوان نه‌تنها عملکرد یا دبی آبخوان را تغییر می‌دهد، بلکه شبکه جریان آب زیرزمینی را نیز تغییر می‌دهد. پیش‌بینی‌های GCMs نشان داد کاهش باران و در نتیجه کاهش تغذیه آب زیرزمینی رخ خواهد داد. ترکیب کاهش باران و افزایش تبخیر در بخش‌هایی از منطقه مدیترانه‌ای به کاهش سطح آب در دریاچه‌ها و آب زیرزمینی منجر شده است (IPPC, 2007). نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های GCM ECHAM4 و HadCM3 با سناریوهای انتشار A2 و B2، نشان داد تغذیه آب‌های زیرزمینی بیش از ۷۰ درصد برای جنوب غرب آفریقا و شمال شرق برزیل کاهش یافت. تغذیه آب زیرزمینی تأثیر مستقیمی بر جریان پایه رودخانه‌ها دارد؛ به‌طوری‌که هنگام کاهش سطح آب زیرزمینی و عمق

نیز رخ دهد (Breshears *et al.*, 2005). Evangelista و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای، تغییرات بلندمدتی را که در ترکیب، ساختار و بوم‌شناسی پوشش گیاهی کوهستانی که در ۴۲ سال گذشته در پارک ملی ایتالیا رخ داده است را بررسی نمودند. از داده‌های گیاهی تاریخی و جمع‌آوری‌شده برای کشف اینکه کدام ویژگی‌های اکولوژیکی و ساختاری در مقابله با تغییرات آب و هوایی موفق‌تر بوده‌اند، استفاده گردید و تغییرات پوشش گیاهی در کوهستان ماجلا<sup>۱۷</sup> در سال‌های ۱۹۷۲ و ۲۰۱۴ تحلیل شد. تغییرات در شاخص‌های زیست‌محیطی و ساختاری با تجزیه و تحلیل واریانس چندمتغیره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش قابل‌توجهی در گونه‌های گیاهی گرمادوست و مزونیتروفیل و افزایش در فراوانی همی‌کریپتوفیت‌ها رخ داده است. تغییرات مشاهده‌شده در ترکیب فلورستیک، شامل فرآیند گرمادوستی و تغییر به سمت پوشش گیاهی با نیاز بیشتر به مواد مغذی بود.

Sun و همکاران (۲۰۲۱)، اثرات تغییر اقلیمی را روی غنای گونه‌ای در چین بررسی و بیان کردند که رشد گیاهان تحت تأثیر عوامل اقلیمی مانند دما، بارش، غلظت دی‌اکسید کربن و غیره قرار می‌گیرد. نتایج پژوهش نشان داد که شکل‌های مختلف گیاهی حساسیت‌های متفاوتی نسبت به تغییرات اقلیمی نشان می‌دهند. گونه‌های علفی نسبت به گونه‌های چوبی سریع‌تر به تغییرات آب و هوایی واکنش نشان می‌دهند. از سوی دیگر، غنای گونه‌ای در سامانه‌های حوضه‌ای کوهستانی و مناطق کویری تلکه‌مکان<sup>۱۸</sup> نسبت به چمن‌زارها و استپ‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی حساس‌تر بود.

#### -راهکارهای احیایی

با توجه به روند افزایشی تغییرات اقلیمی، سازگاری به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی برای کاهش

دقیق‌ترین برآوردها از میزان برگاب از مطالعاتی حاصل‌شده‌اند که تلفات بارش را برای رویدادهای بارشی در مقیاس زمانی دقیقه تا ساعت اندازه‌گیری کرده‌اند. تغییرات گیاهی (از پوشش چمن‌زار به باغ) می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر مقادیر برگاب و درنهایت بر تغذیه آب زیرزمینی داشته باشد (Le Maitre *et al.*, 1999).

تغییر در پوشش گیاهی حوزه‌ی آبخیز به‌عنوان یک نتیجه مستقیم یا غیرمستقیم از تغییرات اقلیمی ممکن است بر بیلان آبی حوزه آبخیز تأثیر بگذارد. گیاهان از طریق برگاب و حذف آب از منطقه ریشه در نتیجه تعرق و تبخیر از سطح خاک بر بیلان آبی تأثیر دارند. همان‌گونه که ذکر شد در اثر تغییرات اقلیمی، ترکیب گیاهی نیز واکنش نشان می‌دهد و به همین ترتیب میزان برگاب و تبخیر و تعرق تغییر خواهند کرد. این تغییرات باعث تغییر فرآیندهای تجمع و ذوب برف، بیلان آبی، تغذیه آب زیرزمینی و درنهایت جریان رودخانه می‌شود (IPCC, 2007).

افزایش دما با فرض دسترسی به آب خاک، باعث افزایش تعرق گیاهان می‌شود. طبق گفته (Pike *et al.*, 2008)، تبخیر و تعرق از یک جنگل صنوبر در انگلیس می‌تواند با افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد به‌اندازه ۶ درصد و با افزایش چهار درجه سانتی‌گراد به‌اندازه ۱۰ درصد افزایش یابد؛ بنابراین، با توجه به تغییرات اقلیمی، مقدار زیتوده گیاهی در یک سایت و ویژگی‌های فیزیولوژیکی پوشش گیاهی تغییر کرده و تأثیر مهمی بر بیلان آب در آینده خواهد داشت. تغییر در پوشش گیاهی حوزه آبخیز به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم ممکن است بر بیلان آب حوضه تأثیر بگذارد.

همچنین تغییرات اقلیمی می‌توانند بر بهره‌وری جنگل و ترکیب گونه‌ها تأثیر بگذارند (Barber *et al.*, 2000). همچنین تغییرات ممکن است به شکل نابودی جنگل‌ها، نفوذ به مناطق کوهستانی و گسترش مراتع

راهکارهای اصلاحی دیگری به نقل از (Diaz, 1996) و Mollaie و همکاران (۲۰۱۸)، در جدول‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) در مراتع (جدول ۸) شامل حفظ یا افزایش ترسیب کربن از طریق مدیریت خاک (Ojima *et al.*, 1994)، کاهش تولید متان با تغییر شیوه مدیریت حیوانات (Cicerone & Oremland, 1988) و استفاده از شیوه‌های کشاورزی پایدار است (Mosier *et al.*, 1991).

آسیب‌ها و افزایش تاب‌آوری جوامع و اکوسیستم‌ها در برابر این تغییرات مطرح می‌شود. سازگاری شامل اقدامات و استراتژی‌هایی است که به منظور کاهش آسیب‌پذیری و استفاده بهینه از فرصت‌های ناشی از تغییرات اقلیمی اتخاذ می‌شود. Tarolli و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی تاب‌آوری حوزه آبخیز در برابر تغییرات آب و هوایی از دامنه‌ها تا رودخانه‌ها و سواحل را مورد بررسی قرار دادند. بلایای طبیعی ناشی از تغییرات اقلیمی و راهکارهای احیایی و مقابله با آن در جدول ۷، ارائه شده است. همچنین

جدول ۷- چارچوب مفهومی نشان‌دهنده بحران‌های مرتبط با سناریوهای تغییر اقلیمی و اقدامات احتمالی کاهش خطر در سه منطقه مورد بحث (Tarolli *et al.*, 2023)

**Table 5 - Conceptual Framework Illustrating the Criticalities Linked to Climate Change Scenarios and Possible Risk Mitigation Measures in the Three Discussed Macro-Regions (Tarolli *et al.*, 2023)**

مکان	بلایای طبیعی	راهکارهای احیایی و مقابله با تغییرات اقلیمی
دامنه‌ها	- بهمن - ریزش سنگ - فرسایش خاک، لغزش و جریان واریزه - سیلاب‌های ناگهانی - خشکسالی‌های ناگهانی - تندبادها	- پایش فرآیندهای هیدروژئومورفولوژیکی - نقشه‌برداری از مناطق آسیب‌پذیر - استفاده از سامانه‌های هشدار به موقع - زیرساخت‌ها (تأسیسات ذخیره آب) - استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت که سلامت خاک را بهبود می‌بخشد، باعث افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب و فرسایش خاک و کاهش هدایت رسوب می‌شود.
رودخانه‌ها	- سیلاب‌های ناشی از دریاچه یخ‌بندان - سیلاب‌ها - خشکسالی‌ها	- نظارت بر دینامیک و هدایت رسوب - نقشه‌برداری از مناطق آسیب‌پذیر - استفاده از سامانه‌های هشدار به موقع - زیرساخت‌ها (سدهای اصلاحی) - استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت برای گسترش مناطق مستعد سیل، بهبود پیوستگی طولی و حذف خاک‌ریزهای غیرضروری
سواحل	- افزایش سطح آب دریا - نفوذ آب شور - سیلاب ساحلی و فرسایش	- پلتفرم‌های نظارتی برای رویدادهای شدید آب و هوایی (خشکسالی و سیل) - زیرساخت‌ها (سیل بندها، گوره‌ها) - استفاده از سامانه‌های هشدار به موقع - استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت، احیای مجدد تالاب‌ها، افزایش کربن آلی در خاک

جدول ۸- عملیات بهبود شرایط یا سلامت مرتع و کاهش گازهای گلخانه‌ای در مراتع (Diaz, 1996)  
 Table 8 - Practices to Improve Rangeland Condition or Health and Reduce Greenhouse Gas Emissions on Rangelands (Diaz, 1996)

نوع عملیات	کربن	متان	نسبت فایده به هزینه بیوفیزیکی	نسبت فایده به هزینه اجتماعی/فرهنگی	نسبت فایده به هزینه اقتصادی عمومی	توجهات
کاهش تعداد و تغییر در ترکیب حیوانات	افزایش مخزن کربن به دلیل افزایش پوشش گیاهی و رشد بهتر ریشه‌ها	کاهش تولید متان حیوانات	افزایش پوشش گیاهی، افزایش مواد آلی خاک و بهبود بهره‌وری	بستگی به کشور و ارزش حیوانات در آن به‌عنوان منبع اجتماعی دارد.	به ارزش دامی برای منطقه‌ای تولید مواد غذایی نیاز دارد.	به تغییرات در سیاست‌های ملی و/یا منطقه‌ای تولید مواد غذایی نیاز دارد.
تغییر در پراکنش حیوانات با قرار دادن نمک یا مکمل‌های غذایی	افزایش جذب کربن به دلیل افزایش پوشش گیاهی	مکمل‌های خوراکی ممکن است تولید متان را کاهش دهند	در مراتعی که دارای میزان کم نیتروژن و فسفر، بسیار مفید است	در کشورهایی که حیوانات به‌جای گله، چرای گسترده‌ای دارند، مناسب است.	هزینه و توزیع نمک و مکمل‌ها	دارای اثر مثبت؛ برای سامانه‌های گله‌داری قابل اعمال نیست.
افزایش گونه‌های بومی و سازگار	افزایش مخزن کربن به دلیل وجود پوشش گیاهی	اگر کیفیت رژیم غذایی افزایش یابد، ممکن است کاهش متان اتفاق بیفتد.	در حفظ گونه‌های بومی برای حفاظت از ژن مفید است.	مردم محلی برای دارو و سایر کالاهای مرتبط با سلامت به گونه‌های بومی متکی هستند.	بستگی به ارزش دام و محصولات دامی و داروهای گیاهی دارد.	گونه‌های بومی و سازگار در طولانی‌مدت زنده می‌مانند.
هالوفیت‌ها (گونه‌های مقاوم به شوری)	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری	هیچ اثر شناخته‌شده‌ای وجود ندارد	افزایش پوشش گیاهی و بهره‌وری	افزایش تولید علوفه برای دام و حیات وحش	هزینه کاشت و نگهداری با آبیاری	زمین‌های بی‌استفاده را به تولید می‌رساند
اعمال آتش با دستورالعمل	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری و طولانی‌مدت بر روی انواع مراتع مناسب است.	کاهش احتمالی متان در واحد محصول با افزایش کیفیت رژیم غذایی	آتش در سامانه‌های سازگار می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری و حفظ چرخه مواد مغذی شود.	استفاده از آتش می‌تواند بخشی از سیستم اجتماعی باشد و از دانش بومی استفاده می‌کند	دارای خطر تهدید آتش‌سوزی و نابودی منابع انسانی	افزایش کوتاه‌مدت CO2 به اتمسفر؛ مزایای بلندمدت در سامانه‌های سازگار

اجرای سامانه‌های آگروفارستری	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری و در طولانی‌مدت	کاهش احتمالی متان در واحد محصول با افزایش کیفیت رژیم غذایی	افزایش پوشش گیاهی، تنوع و بهره‌وری	تغییر در چمن / ترکیب علوفه برای دام و حیات‌وحش	هزینه کاشت و نگهداری	افزایش ذخیره کربن در درختان افزایش تنوع و بهره‌وری در صورت استفاده از گونه‌های سازگار
توسعه پروژه‌های آبخیزداری در مقیاس بزرگ	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری	کاهش متان با افزایش کیفیت رژیم غذایی	تأمین آب منظم برای انسان و حیوانات	پتانسیل برای بهبود تولید مواد غذایی هم از نباتات و هم از حیوانات	هزینه: ساخت سدها و غیره فایده: استفاده از انرژی و نیروی آب جهت تولید برق‌آبی	پتانسیل افزایش جمعیت انسان و حیوان به دلیل افزایش دسترسی به آب

### -سامانه آگروفارستری

دانش بومی افراد محلی منبع اطلاعاتی خوبی برای سامانه‌های آمایشی است که آن‌ها توسعه داده‌اند. به این دلیل اشکال مختلفی از تلفیق تولیدمثل دام، جنگل و زراعت و یا هر سه سامانه‌های آگروفارستری به حساب می‌آیند (Karimi et al., 2019). استفاده از روش‌ها و برنامه‌های مدیریتی مناسب در جهت کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و در راستای افزایش بهره‌وری اراضی کشاورزی امری ضروری به شمار می‌آید. در این راستا، استفاده از سامانه‌های آگروفارستری به‌عنوان، یکی از روش‌های مؤثر در برنامه‌های زراعی می‌تواند منبع مؤثری را برای استفاده بهینه از اراضی کشاورزی فراهم آورد (Sodaeizadeh & Jebali, 2020). به‌طور کلی، عمده سامانه‌های آگروفارستری موجود در کشور در منطقه غرب و در حاشیه جنگل‌های زاگرس مشاهده می‌گردد، زیرا جنگل تراشی و تخریب جنگل در حاشیه روستاها به‌وفور دیده می‌شود و مردم حاشیه‌نشین

در کشاورزی آگروفارستری به مفهوم کشت توأم درخت چوبده و محصولات زراعی است (Ataei Giglu et al., 2011). جنگل‌های زاگرس مطابق تعریف<sup>19</sup> FAO، جزء جنگل‌های باز محسوب می‌شوند، یعنی ترکیبی از جنگل و مرتع با حداقل یک درصد پوشش درختی و لایه پیوسته‌ای از علف در کف جنگل بوده در نتیجه به‌واسطه فاصله‌ای که درختان از یکدیگر دارند. در این قبیل جنگل‌ها نور به خاک کف جنگل می‌رسد و به خاطر شرایط مساعد اقلیمی، پوشش علفی مناسبی در کف آن رشد می‌کند. به‌واسطه این ویژگی‌ها هزاران سال است که بشر در این جنگل‌ها، دامداری کرده است و امروزه یکی از قطب‌های تولید گوشت در کشور به حساب می‌آید. متناسب با این خصوصیات ساختارهای انسانی خاص مثل عشایر کوچ‌رو و جوامع روستایی نیز توسعه‌یافته و در این گذر تجاری برای استفاده بهینه از جنگل و مرتع به‌دست‌آمده است.

مدیریت توسعه پایدار در این مناطق باشد تا از این راه کشاورزان قادر شوند طبق اصل تولید مستمر، به حداکثر تولید نائل شوند و رویکرد افزایش درآمد با هدف حفظ جنگل‌ها صورت گیرد (Goudarzian et al., 2013).

وابستگی شدیدی به این جنگل‌ها دارند. جنگل‌های زاگرس در حدود ۱۲ درصد از جنگل‌های کشور را شامل می‌شوند و دارای شرایطی خشک و نیمه‌خشک هستند که بیانگر شرایط ویژه این جنگل‌ها است و اهمیت مطالعات را در این نواحی آشکار می‌سازد. به همین علت اگر وفارستری می‌تواند به‌عنوان راهکاری در

جدول ۹- راهبردهای سازگاری کشاورزان با تغییر اقلیم (Mollaie et al., 2018)  
Table 9 - Farmers' Adaptation Strategies to Climate Change (Mollaie et al., 2018)

طبقات اصلی	زیر طبقات
اقتصادی و مالی	قیمت‌گذاری بانک، حمایت‌های بانکی و دولتی، ایجاد امنیت شغلی
آموزشی و ترویجی	استفاده از مطالعات و فناوری‌های نو، آموزش، ترویج و انتقال یافته‌ها، ایجاد فرهنگ مصرف پایدار، ارتقا درک کشاورزان از تغییر اقلیم
مدیریتی	توسعه روش‌های نوین آبیاری، افزایش بهره‌وری منابع آب، توسعه فعالیت‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری، مدیریت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، مدیریت تبخیر، مدیریت مصرف بهینه آب، مدیریت مرتع، نظارت دولتی، بهره‌گیری از دانش بومی و پتانسیل‌های محلی
نهادی و زیرساختی	سیاست‌گذاری و الزامات قانونی، تدوین سیاست‌های تشویقی و تنبیهی، اصلاح، احیا و توسعه زیرساخت‌ها، توسعه روش‌های پیش‌آگاهی و بهره‌گیری از پتانسیل‌های محلی، همکاری و هم‌افزایی سازمانی
فنی و زراعی	مدیریت به‌زراعی، تغییر الگوی کشت مناسب، مدیریت تغذیه، مدیریت آفات و بیماری‌ها، ارتقا ضریب مکانیزاسیون، افزایش ظرفیت نگهداری آب

### نتیجه‌گیری کلی

اثرات تغییرات اقلیمی می‌تواند در حوزه‌های آبخیز به دلیل اقلیم محلی و ویژگی‌های حوضه که وابسته به فرآیندها و پاسخ‌های خاص حوضه به تغییرات است، به دلیل تفاوت در ویژگی‌های ژئوفیزیکی حوضه‌ها متفاوت باشد. مدل‌سازی اثرات تغییرات اقلیمی بر هیدرولوژی در مقیاس محلی و ملی ضروری است تا تخمین‌های قابل‌اعتمادی از تأثیرات تغییرات اقلیمی بر هیدرولوژی به دست آید. آب به‌عنوان یک عنصر حیاتی برای وجود زندگی و فرآیندهای کلی سیاره ضروری است و در معرض تأثیرات تغییرات اقلیمی قرار دارد؛ بنابراین توسعه و آزمایش مدل‌های احتمالاتی منطقه‌ای و توسعه استراتژی‌های سازگاری مبتنی بر علم برای

پاسخ و کاهش خطرات برای سامانه‌های انسانی و طبیعی ناشی از تغییرات در چرخه آب از طریق توسعه گزینه‌های مناسب در مقیاس حوضه، از اهمیت بسیاری برخوردار است. تغییرات پیش‌بینی‌شده در اقلیم تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر محیط طبیعی و همچنین بر جوامع انسانی خواهد داشت و ممکن است تغییرات اساسی در شرایط آبی مانند افزایش سطح دریا، تغییر در الگوی بارش، تغییر در ویژگی‌های جریان رودخانه، تغذیه و دسترسی به آب زیرزمینی، تغییر در ترکیب گیاهی که بر فرآیند تعرق تأثیر می‌گذارد و تغییرات در فرآیند تبخیر و تعرق ایجاد کند. مروری بر مقالات در پژوهش حاضر نشان داد با توجه به کاهش بارش کشور و

چرای مفرط و زودرس، تقویت باور عمومی تغییر اقلیم، توسعه روش‌های آبیاری نوین، اصلاح روش‌های کاشت، کشت گیاهان دارویی، اصلاح زیرساخت‌ها برای کاهش سیل مانند ساخت چاه‌های نفوذی، حوضچه‌های نگهدارنده و منافذ زیستی و همچنین می‌توان به جایگزینی توسعه جدید نیروگاه‌های سوخت فسیلی با منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر (بادی یا خورشیدی) اشاره نمود. بنابراین، سازگاری و کاهش تغییرات آب و هوایی باید به‌طور سامانمند و یکپارچه با مشارکت دولت، بخش خصوصی و سازمان‌های مردم‌نهاد انجام شود. زمینه‌های زیر را می‌توان برای تحقیقات ضروری در آینده توصیه کرد.

(۱) ادامه تلاش‌ها برای بهبود درک، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، به‌ویژه در مقیاس منطقه‌ای، از جمله نیروهای محرک انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری زمین، تغییرات دما، بارش، رطوبت خاک، رواناب، آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق، منجمد دائمی، پوشش یخ و برف و تغییر سطح دریا.

(۲) بهبود توصیف منابع مهم عدم قطعیت، از جمله بازخوردها و آستانه‌های احتمالی در سیستم آب و هوایی مرتبط با تغییرات ابرها، یخ‌های زمین و دریا، ذرات ریز در جو، گازهای گلخانه‌ای، استفاده از زمین و پوشش زمین، سناریوهای انتشار و دینامیک اقیانوس.

(۳) توسعه شاخص‌هایی که امکان گزارش به‌موقع و افزایش درک عمومی از تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کند و امکان پیش‌بینی و نسبت دادن به تغییرات، از جمله تغییرات ناگهانی و رویدادهای حدی را در زمینه تغییر اقلیم فراهم می‌کند.

(۴) درک پیشرفته از فعل‌وانفعالات تغییرات اقلیمی و تنوع طبیعی در مقیاس‌های زمانی متعدد، از جمله تغییرات فصلی تا دهه‌ای و در نظر گرفتن نوسانات آب و هوایی از جمله نوسان جنوبی ال‌نینو، نوسان ده‌ساله اقیانوس آرام، نوسانات اقیانوس اطلس شمالی و رویدادهای شدید مانند طوفان، خشکسالی و سیل (Adamo et al., 2021).

همچنین افزایش آستانه بارش‌های حدی، به نظر می‌رسد در دهه‌های آینده بارش‌ها به شکل سنگین و سیل‌آسا باشد و به دلیل افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته شود. همچنین افزایش دما منجر به کاهش تعداد روزهای یخبندان و رطوبت خاک می‌شود. عوامل افزایش دما و کاهش بارندگی در جهت کاهش رواناب عمل می‌کنند. در نتیجه کاهش بارش و تغییر الگوی زمانی آن در دوره‌های آینده، بر رژیم جریان و رودخانه و زمان دبی پیک نیز تأثیرگذار خواهد بود.

به دلیل عدم درک کافی از جو و مکانیزم چرخه هیدرولوژیک و ارتباط ذاتی بین آن‌ها، تحقیقات صورت گرفته فعلی در زمینه تغییر اقلیم دارای مشکلاتی مانند وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی است. این نوع عدم قطعیت عمدتاً از عدم قطعیت سناریوهای انتشار، مدل‌های GCM و فن ریزمقیاس نمایی و پارامترهای فیزیکی و غیره ناشی می‌شود. در اکثر مدل‌های گردش عمومی جو فرض می‌کنند که پوشش گیاهی و خاک در سطح یکنواخت است که باعث می‌شود دقت شبیه‌سازی بالا نباشد.

بر همین اساس، تحقیقات در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر هیدرولوژی و منابع آب به قدرت تفکیک مکانی و زمانی بیشتری در سناریوهای اقلیمی، مدل هیدرولوژیکی کاملاً توزیعی و بهبود صحت مدل هیدرولوژیکی نیاز دارد و افزایش تحقیقات بیشتری را در مورد رویدادهای حدی هیدرولوژیکی، کیفیت آب و محیط‌زیست آب و آسیب‌پذیری سیستم منابع آب تحت شرایط تغییرات اقلیمی می‌طلبد.

از اقدامات کاهش آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی به‌عنوان بخشی از فعالیت‌های مدیریت منابع آب و خاک می‌توان به کاهش بیابان‌زایی و تخریب جنگل، مدیریت پایدار جنگل، افزایش ذخیره کربن از طریق توسعه جنگل، بازسازی جنگل و خاک، حفظ و مدیریت اراضی، استفاده از گیاهان چوبی به‌منظور مقابله با رواناب و فرسایش خاک، کاهش در فراوانی سیلاب‌ها و زمین‌لغزش‌ها، تغییر و توسعه الگوی کشت، کنترل

## References

- Abraham, L. Z., Roehrig, J., & Chekol, D. A. (2006). *Climate change impact on Lake Ziway watershed water availability, Ethiopia*. Institute for Technology in the Tropics, University of Applied Science: Cologne, Germany.
- Abd Ellah, R. G. (2020). Water resources in Egypt and their challenges, Lake Nasser case study. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.001>
- Abdo, K. S., Fiseha, B. M., Rientjes, T. H. M., Gieske, A. S. M., & Haile, A. T. (2009). Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana basin, Ethiopia. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(26), 3661-3669. <https://doi.org/10.1002/hyp.7363>
- Adamo, N., Al-Ansari, N., & Sissakian, V. (2021). Review of climate change impacts on human environment: past, present and future projections. *Engineering*, 13(11), 605-630. <https://doi.org/10.4236/eng.2021.1311044>
- Ahmadian, M., & Montaseri, M. (2022). Evaluating Global Climate Models and Ranking them for Hydrological Simulation. *Water & Soil Science (Agricultural Science)*, 31(4), 69-84. <https://doi.org/10.22034/WS.2021.12255> (In Persian)
- Almazroui, M., Saeed, S., Saeed, F., Islam, M.N., & Ismail, M. (2020). Projections of precipitation and temperature over the South Asia countries in CMPI6. *Earth Systems and Environment*, 4, 297-320. <https://doi.org/10.1007/s40333-023-0050-3>
- Ashofteh, P.S., & Bozorg Hadad, O. (2014). A New Probabilistic Approach for Evaluation of the Effects of Climate Change on Water Resources. *Water Resources Engineering*, 6(19), 51-66. <https://doi.org/20.1001.1.20086377.1392.6.17.4.2> (In Persian)
- Ataei Giglu, I., Jalilvand, H., Pourmajidian, M.R., & Didar, R.. (2011). Agroforestry, new procedure to develop rural economy. *Journal of Sciences and Techniques in Natural resources*, 5(4), 49-61. (In Persian).
- Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H., & Malbisei, S. (2009). Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Model. *Geography and Development*, 7(16), 135152. <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1179> (In Persian)
- Barber, V. A., Juday, G. P., & Finney, B. P. (2000). Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature*, 405(6787), 668-673. <https://doi.org/10.1038/35015049>
- Bates, B. C., Kundzewicz, S. W., & Palutikof, J. P. 2008. Climate change and water. *Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC Secretariat.
- Bekele, A., Aticho, A., & Kissi, E. (2018). Assessment of community based watershed management practices: emphasis on technical fitness of physical structures and its effect on soil properties in Lemo district, Southern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 7, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0124-y>
- Breshears, D. D., Cobb, N. S., Rich, P. M., Price, K. P., Allen, C. D., Balice, R. G., ..., & Meyer, C. W. (2005). Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(42), 15144-15148. <https://doi.org/10.1073/pnas.0505734102>
- Belay, H. (2021). *Evaluation of Climate Change impacts on hydrology on selected catchments of Abbay Basin*. MSc Thesis, Addis Ababa University School of Post Graduate Studies. Pp 60-67.
- Burn, D. H., Buttle, J. M., Caissie, D., MacCulloch, G., Spence, C., & Stahl, K. (2008). The processes, patterns and impacts of low flows across Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 33(2), 107-124. <https://doi.org/10.4296/cwrj3302107>
- Chen, H., Sun, J., Lin, W., & Xu, H. (2020). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating climate extremes. *Sci. Bull*, 65(17), 1415-1418. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.05.015>
- Cicerone, R.J. & Oremland, R. (1988). Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 2, 299-327. <https://doi.org/10.1029/GB002i004p00299>

- Conway, D. (2005). From headwater tributaries to international river: Observing and adapting to climate variability and change in the Nile basin. *Global Environmental Change*, 15(2), 99-114. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.003>
- Diaz, A. (1996). *Rangelands in a changing climate: impacts, adaptations, and mitigation*.
- Demissie, T. A., Saathoff, F., Sileshi, Y., & Gebissa, A. (2013). Climate change impacts on the streamflow and simulated sediment flux to Gilgel Gibe 1 hydropower reservoir–Ethiopia. *European International Journal of Science and Technology*, 2(2), 63-77. <http://10.140.5.162//handle/123456789/1411>
- De Wit, M., & Stankiewicz, J. (2006). Changes in surface water supply across Africa with predicted climate change. *Science*, 311(5769), 1917-1921. <https://doi.org/10.1126/science.11199>
- Eltarabily, M. G., Abd-Elaty, I., Elbeltagi, A., Zeleňáková, M., & Fathy, I. (2023). Investigating climate change effects on evapotranspiration and groundwater recharge of the Nile delta aquifer, Egypt. *Water*, 15(3), 572. <https://doi.org/10.3390/w15030572>
- Erol, A., & Randhir, T. O. (2012). Climatic change impacts on the ecohydrology of Mediterranean watersheds. *Climatic change*, 114, 319-341. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0406-8>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., & Taylor, K.E. 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9, 1937-1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Evangelista, A., Frate, L., Carranza, M. L., Attorre, F., Pelino, G., & Stanisci, A. (2016). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: a re-visitation study over 42 years. *AoB Plants*, 8, plw004. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw004>
- Getu Engida, T., Nigussie, T. A., Aneseyee, A. B., & Barnabas, J. (2021). Land use/land cover change impact on hydrological process in the Upper Baro Basin, Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*. 2021, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2021/6617541>
- Goitom, H., De Smedt, F., Yohannes, T. G., Walraevens, K., Gebrehiwot, K., Bauer, H., & Deckers, J. (2012). Modeling climate change impact in the Geba Basin, Ethiopia. In International Conference on Environmental. *Biomedical and Biotechnology*, 41, 240-244.
- Goudarzian, P., Erfanfard, U., & Sadeghi, H. (2013). Detection and Classification of Available Agroforestry Systems in Fars Province (Case Study: Kazerun City). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(1), 55-70. (In Persian)
- Heidari, M., & Khazaei, M.R. (2018). Climate change impact assessment on extreme daily rainfalls in Kermanshah. *Journal Of Water and Soil Resources Conservation*, 7(2 ), 27-39. (In Persian)
- Hughes, A., Mansour, M., Ward, R., Kieboom, N., Allen, S., Seccombe, D. ..., & Prudhomme, C. (2021). The impact of climate change on groundwater recharge: National-scale assessment for the British mainland. *Journal of Hydrology*, 598, 126336. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126336>
- Ikhlas, N., & Ramadan, B. S. (2023). Community-based watershed management (CBWM) for climate change adaptation and mitigation: Research trends, gaps, and factors assessment. *Journal of Cleaner Production*, 140031. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140031>
- Ilbay-Yupa, M., Ilbay, F., Zubieta, R., García-Mora, M., & Chasi, P. (2021). Impacts of climate change on the precipitation and streamflow regimes in equatorial regions: Guayas river basin. *Water*, 13(21), 3138. <https://doi.org/10.3390/w13213138>
- IPCC (2007). *The physical science basis – summary for Policymakers. Contribution of WG1 to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Availableat: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>
- Karimi, H., Karami, G., & Mousavi, S. M. (2019). Investigating of characteristic and

- contexts of agroforestry system development. *Human & Environment*, 17(2), 79-90. <https://doi.org/20.1001.1.15625532.1398.17.2.6.6> (In Persian)
- Karimi, S. R., nasrolahi, A., & iranshahi, M. (2024). Investigating the effects of climate change on reference evapotranspiration based on the SSP scenarios. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(11), 1759-1777. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358697.669493> (In Persian)
- Kitabata, H., Nishizawa, K., Yoshida, Y., & Maruyama, K. (2006). Permafrost thawing in Circum-Arctic and highlands under climatic change scenario projected by community climate system model (CCSM3). *Sola*, 2, 53-56. <https://doi.org/10.2151/sola.2006-014>
- Kundzewicz, Z. W., Graczyk, D., Maurer, T., Pińskwar, I., Radziejewski, M., Svensson, C., & Szwed, M. (2005). Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow/Détection de tendance dans des séries de débit fluvial: 1. Débit maximum annuel. *Hydrological Sciences Journal*, 50(5), 810. <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.5.797>
- Le Maitre, D. C., Scott, D. F., & Colvin, C. (1999). Review of information on interactions between vegetation and groundwater. *WATER SA*, 25 (2), 137-152.
- Li, C., & Fang, H. (2021). Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model. *Catena*, 201, 105199. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105199>
- Loukas, A., Vasiliades, L., & Dalezios, N. R. (2002). Climatic impacts on the runoff generation processes in British Columbia, Canada. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(2), 211-228. <https://doi.org/10.5194/hess-6-211-2002>
- Malekmohammadi, B., Uvo, C. B., Moghadam, N. T., Noori, R., & Abolfathi, S. (2023). Environmental risk assessment of wetland ecosystems using Bayesian belief networks. *Hydrology*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.3390/hydrology10010016>
- Malmir, M., Mohamadrezapour, O., Sharifazari, S., & Ghandehari, G.H. (2016). The effect of climate change on stream flow used Statistical downscaling of HADCM3 model and Artificial Neural Networks. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(3), 317-326. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3201> (In Persian)
- Mansouri, B., Ahmadzadeh, H., Massah Bavani, A., morid, S., Delavar, M., & Lotfi, S. (2016). Assessment of climate change impacts on water resources in Zarrinehrud basin using SWAT model. *Water and Soil*. 28(6), 1203-1291. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.35633> (In Persian)
- Mboka, J.J.M., Kouna, S.B., Chouto, S., Djuidje, F.K., Nguy, E.B., Fotso-Kamga, G., Matsaguim, C.N., Fotso-Nguemo, T.C., Nghonda, J.P., Vondou, D.A. & Yepdo, Z.D. (2021). Simulated impact of global warming on extreme rainfall events over Cameroon during the 21st century. *Weather*, 76(10), 347-353. <https://doi.org/10.1002/wea.3867>
- Mosier, A.R., Schimel, D., Valentine, D.K. Bronson, K., & Parton, W. (1991). Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature*, 350, 330-332. <https://doi.org/10.1038/350330a0>
- Mollaie, F., Hosseini, S.M., Hejazi, S.V., & Pishbin, S. A.R. (2018). Explaining the Adaptation Strategies of Farmers to Climate Change in South Khorasan Province. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, 14(2), 83-105. <https://doi.org/20.1001.1.20081758.1400.17.0.8.2> (In Persian)
- Mortazavifar, S. M., Mobin, M. H., Mokhtari, M. H., Ekrami, M., & Rfiei Sardoi, E. (2019). Evaluation of the impact of climate change on precipitation and temperature variables based on the RCP scenarios: A case study of the east of Mazandaran Province, Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 1(4), 351-364. (In Persian)
- Ojima, D.S., Galvin, K.A., & Turner, B.L. (1994). The global impact of landuse change. *Bioscience*, 44(5), 300-304. <https://doi.org/10.2307/1312379>
- Poormohammadi, S., Dastorani, M.T., Massah Bavani, A.R., Gudarzi, M., Jafari, H., & Rahimian, M.H. (2017). Effects of Climate Change on River Runoff and Compatible Solutions (CaseStudy: Tuyserkan Basin,

- Hamedan). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 11(37), 1-12. (In Persian)
- Saeedifar, Z., Khosroshahi, M., Jalili, A., Razavizadeh, S., Dargahian, F., Zandifar, S., Lotfinasabasl, S., Gohardust, A., Teimuri, S., & Fayaz, M. (2021). Analysis of the Effect of Climatic Factors and Drought on Inflow and Outflow from the Khuzestan Plain in the Karun Basin. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8(3), 43-54. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i3.2102.1020> (In Persian)
- Sanchez-Gomez, A., Martinez-Perez, S., Leduc, S., Sastre-Merlin, A., & Molina-Navarro, E. (2023). Streamflow components and climate change: Lessons learnt and energy implications after hydrological modeling experiences in catchments with a Mediterranean climate. *Energy Reports*, 9, 277-291. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.191>
- Svensson, C., Kundzewicz, Z. W., & Maurer, T. (2005) Trend detection in river flow series: 2. Flood and low-flow index series. *Hydrological Sciences Journal*, 50(5), 811–824. <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.5.811>
- Sodaeizadeh, H., & Jebali, A. (2020). Monitoring Changes in Agricultural Land Area under Agroforestry Practices (A Case Study of Bagh-Baghoueyeh in Jiroft). *Land Management Journal*, 8(1), 13-26. <https://doi.org/10.22092/lmj.2020.122308> (In Persian)
- Soliman, E.S., Sayed, M.A., & Jeuland, M. (2009). Impact assessment of future climate change for the Blue Nile basin using a RCM nested in a GCM. *Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine*, 2, 15-30.
- Pike, R.G., Spittlehouse, D.L., Bennett, K.E., Egginton, V.N., Tschaplinski, P.J., Murdock, T.Q., & Werner, A.T. (2008). Climate change and watershed hydrology: part I—recent and projected changes in British Columbia. *Streamline Watershed Management Bulletin*, 11(2), 1-8.
- Stewart, I. T., Cayan, D. R., & Dettinger, M. D. (2004). Changes in snowmelt runoff timing in western North America under abusiness as usual climate change scenario. *Climatic Change*, 62(1), 217-232. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000013702.22656.e8>
- Sun, Y., Sun, Y., Yao, S., Akram, M.A., Hu, W., Dong, L., Li, H., Wei, M., Gong, H., Xie, S. & Aqeel, M. (2021). Impact of climate change on plant species richness across drylands in China: From past to present and into the future. *Ecological Indicators*, 132, 108288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108288>
- Tarekegn, D., & Tadege, A. (2006). *Assessing the Impact of Climate Change on the Water Resource of Lake Tana Sub-Basin Using the WATBAL Model, Ethiopia*.
- Tarolli, P., Zuecco, G., & Picco, L. (2023). Watershed resilience to climate change: From hillslopes to rivers and coasts. *Evolving Earth*, 1, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.eve.2023.100010>
- Tesfaye, E., Abate, B., Alemayehu, T., & Dile, Y. (2023). Evaluating the skills of the CMIP5 global climate models using multicriteria decision-making analysis in Ethiopia. *Heliyon*, 9(10), e20320. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20320>
- Toews, M. W., Allen, D. M., & Whitfield, P. H. (2009). Recharge sensitivity to local and regional precipitation in semiarid midlatitude regions. *Water resources research*, 45(6). <https://doi.org/10.1029/2007WR006763>
- Wang, K., Dickinson, R. E., & Liang, S. (2012). Global atmospheric evaporative demand over land from 1973 to 2008. *Journal of Climate* 25(23), 8353-8361. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00492.1>
- Wang, S. J., Lee, C. H., Yeh, C. F., Choo, Y. F., & Tseng, H. W. (2021). Evaluation of climate change impact on groundwater recharge in groundwater regions in Taiwan. *Water*. 13(9), 1153. <https://doi.org/10.3390/w13091153>
- Yaghoobzadeh, M., Ahmadi, M., Boroumandnasab, S., & Haghayeghi Moghadam, A. (2017). Impact of Climate Change on Changing Trend of Evapotranspiration during the Growth Period of Irrigated and Rainfed Field Crops by AOGCM Models. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(4), 511-523. <https://doi.org/10.22092/jwra.2017.109013> (In Persian)
- Zareian, M. (2022). Effects of Climate Change on Temperature and Precipitation in Yazd

Province Based on Combined Output of  
CMIP6 Models. *Journal of Water and Soil  
Science*. 26 (2):91-105.  
<https://doi.org/10.47176/jwss.26.2.31501>  
(In Persian)

## Dynamic Analysis of Organizational Stakeholders' Cohesion and Determination of Land Governance Systems: Application of Social Network Analysis

Mehdi Ghorbani<sup>1\*</sup>, Seyed Amirhossein Garakani<sup>2</sup>, Sedigheh Ghafari<sup>3</sup>, Leila Avazpour<sup>4</sup>,  
Majid Rahimi<sup>3</sup>

1. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Urban Planning, Central Tehran Azad University, Tehran, Iran
3. Social Business Institute, University of Tehran, Tehran, Iran
4. Department of Infrastructure Affairs, Faculty of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran

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

(Received: 27 Jun 2024

Revised: 04 August 2024

Accepted: 14 August 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Land governance deals with how resources are utilized and responsibilities are distributed among various individuals and groups in managing the land. Achieving sustainable land governance requires organizational cohesion and a robust structure for information exchange. As a social-ecological system, land governance emphasizes the holistic approach, highlighting the interactions and cooperation among various elements (political, social, economic, and administrative). The governance regime is the institutional framework within which land governance operates, including the interdependencies of institutions and their roles in managing land resources (water and soil). This study aims to analyze the dynamics of organizational cohesion and determine the governance regime in the governance system of Gachsaran County before and after the implementation of the Development and Advancement Plan of the Rural Constellation.

**Materials and Methods:** In this study, organizations involved in the Development and Advancement Plan of the Rural Constellation in Gachsaran County were identified. The level of cooperation, coordination, and power distribution were assessed using density and centralization indices in social network analysis. The Organizations were categorized into subgroups based on their institutional roles, including “protective, intermediary, developmental” and “agricultural and natural resources, infrastructure and development, culture and education, welfare and social services, monitoring and security.” The density of all subgroups and the ratio of intra-group and extra-group relations (E-I) at micro, macro, and meso levels of the network were calculated. Using the degree centrality index, the distribution of information receipt and transmission within the network was analyzed. Finally, the type of land governance regime in the region, before and after the project implementation, was determined.

**Results and Discussion:** The implementation of the Development and Advancement Plan of the Rural Constellation led to a significant improvement in network density, indicating increased cooperation, coordination, and organizational cohesion. Examining subgroup density and the ratio of intra-group and extra-group relations (E-I) in various groupings revealed that the project has enhanced inter-group cooperation and interactions. The highest density was found in the protective, agricultural and natural resources, and monitoring and security subgroups. Notably, after the project’s implementation, the protective, culture and education, and infrastructure and development subgroups significantly increased their cooperation. However, there remains a need to strengthen internal and inter-organizational cooperation among intermediary organizations. The distribution of degree centrality, with increased average and median in both in-degree and out-degree centrality, reflects an increase in organizational connections and influence. Despite the overall increase in activities, the constant maximum and minimum outgoing degree centrality confirm that some organizations still engage in minimal activities. The increase in the minimum and first quartile values in the overall and in-degree centrality box plot charts shows an improvement in the organizations with the fewest previous connections, while the increase in third quartile indicates further strengthening of more active organizations. These results demonstrate that disparities and inequalities in access to information and collaboration tools have decreased after the project, with all network levels benefiting from the project. Moreover, the reduction in network centralization reflects a more balanced distribution of authority and access to information and resources within the network. The determination of the governance regime indicated a shift from a fragmented to a polycentric regime, signifying increased cooperation and coordination among organizational stakeholders.

**Conclusion:** This research demonstrated that the implementation of the Development and Advancement Plan of the Rural Constellation had positive impacts on the land governance network and organizational cohesion. The increase in density and decrease in centralization indices after the project indicate improved interactions, information exchange, and collaboration among organizations. These changes enhanced organizational cohesion and transformed the governance regime from a fragmented and uncoordinated regime to a polycentric regime. A more balanced distribution of power and information, along with access to collaboration tools and organizational synergy, can lead to sustainable development and enhance the efficiency of the governance system. This research emphasizes that there is no one-size-fits-all solution for governance systems, and they should be designed according to specific conditions. The approach used in this study can be applied to evaluate the effectiveness of future projects. Future research should focus on a more detailed examination of inter-organizational interactions and the long-term impacts of these projects.

**Keywords:** Governance system, Governance regime, Land governance, Polycentric, Social Network Analysis

Citation: Ghorbani, M., Garakani, S.A., Ghafari, S., Avazpour, L., & Rahimi, M. (2025). Dynamic analysis of organizational stakeholders' cohesion and determination of land governance systems: Application of Social Network Analysis. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 59-78. doi: 10.22034/iwm.2024.2034030.1162

### 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 پویایی انسجام سازمانی و تعیین نظام حکمرانی سرزمین: کاربرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی

مهدی قربانی<sup>۱\*</sup>، سیدامیر حسین گرگانی<sup>۲</sup>، صدیقه غفاری<sup>۳</sup>، لیلا عوض پور<sup>۴</sup>، مجید رحیمی<sup>۳</sup>

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

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

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

۴. گروه حکمرانی امور زیربنایی، دانشکده حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** حکمرانی سرزمین به چگونگی بهره‌برداری از منابع و توزیع مسئولیت‌ها توسط افراد و گروه‌های مختلف در مدیریت سرزمین می‌پردازد. دستیابی به حکمرانی پایدار سرزمین نیازمند وجود انسجام سازمانی و ساختار منسجم تبادل اطلاعات است. نظام حکمرانی سرزمین به‌عنوان یک نظام اجتماعی-اکولوژیک، بر ماهیت کل‌نگر حکمرانی سرزمین و نحوه تعامل و همکاری عناصر مختلف (سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اداری) با یکدیگر تأکید دارد. رژیم حکمرانی چهارچوب نهادی است که حکمرانی سرزمین در آن عمل می‌کند و شامل وابستگی‌های متقابل نهادها و نقش آن‌ها در مدیریت منابع سرزمین (آب و خاک) است. هدف این مطالعه، تحلیل پویایی انسجام سازمانی و تعیین نظام حکمرانی شهرستان گچساران با استفاده از روش تحلیل شبکه اجتماعی در دو مرحله قبل و بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، سازمان‌های مرتبط با طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی در شهرستان گچساران، شناسایی و میزان همکاری، هماهنگی و توزیع قدرت با استفاده از شاخص‌های تراکم و تمرکز در روش تحلیل شبکه‌های اجتماعی، ارزیابی شد. همچنین، سازمان‌ها بر اساس نقش‌های نهادی به زیرگروه‌های مختلفی تقسیم شدند که شامل «حفاظتی، واسطه‌ای، توسعه‌ای» و «کشاورزی و منابع طبیعی، زیرساخت و توسعه، فرهنگ و آموزش، رفاه و خدمات اجتماعی، نظارت و امنیت» می‌باشند. میزان تراکم در تمام زیرگروه‌ها و نسبت پیوندهای بیرونی به درونی در سطح خرد، کلان و میانی شبکه محاسبه شد. با استفاده از شاخص مرکزیت درجه، میزان پراکنش دریافت و ارسال اطلاعات در شبکه بررسی و نوع رژیم حکمرانی سرزمین در قبل و بعد از اجرای طرح تعیین شد.

**نتایج و بحث:** اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی منجر به بهبود قابل توجهی در شاخص تراکم شبکه شده است که نشان‌دهنده افزایش همکاری، هماهنگی، و انسجام سازمانی است. بررسی تراکم زیرگروه‌ها و شاخص نسبت پیوندهای برون گروهی به درون گروهی در گروه‌بندی‌های مختلف نشان داد که اجرای طرح، بهبود همکاری‌ها و تعاملات بین گروهی را به همراه داشته است. بیشترین تراکم در زیرگروه‌های حفاظتی، کشاورزی و منابع طبیعی و نظارت و امنیت مشاهده شد. به‌طور خاص، پس از اجرای طرح، زیرگروه‌های حفاظتی، فرهنگ و آموزش و زیرساخت و توسعه، همکاری‌های خود را به‌طور قابل توجهی افزایش داده‌اند. همچنین نیاز به تقویت همکاری داخلی و بین‌سازمانی در سازمان‌های واسطه‌ای همچنان وجود دارد. توزیع شاخص مرکزیت درجه با افزایش میانگین و میانه مرکزیت درجه ورودی و خروجی نشان‌دهنده افزایش ارتباطات و تأثیرگذاری سازمان‌ها است. با وجود افزایش سطح کلی فعالیت‌ها، ثابت ماندن بیشینه و کمینه مرکزیت درجه خروجی تأیید می‌کند که برخی سازمان‌ها همچنان کمترین فعالیت‌ها را دارند. افزایش مقادیر کمینه و چارک اول در نمودار مرکزیت درجه کلی و ورودی نشان‌دهنده بهبود وضعیت سازمان‌هایی است که در گذشته کمترین ارتباطات را داشته‌اند، درحالی که افزایش چارک سوم نیز نشان‌دهنده تقویت بیشتر سازمان‌های فعال‌تر است. این نتایج نشان داد که تفاوت‌ها و نابرابری‌ها در دسترسی به اطلاعات و ابزارهای همکاری پس از اجرای طرح کاهش یافته و همه سطوح شبکه از مزایای طرح بهره‌مند شده‌اند. همچنین کاهش تمرکز شبکه، توزیع متوازن‌تر اقتدار و دسترسی به اطلاعات و منابع در شبکه را نشان می‌دهد. نتایج تعیین رژیم حکمرانی نشان داد که نوع رژیم از چندپاره به چندمرکزی تغییر یافته است، که این تغییر نشان‌دهنده افزایش همکاری و هماهنگی بین دست‌اندرکاران سازمانی است.

**نتیجه‌گیری:** اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی تأثیرات مثبتی بر شبکه حکمرانی سرزمین و انسجام سازمانی داشته است. افزایش شاخص تراکم و کاهش شاخص تمرکز پس از اجرای طرح، نشان‌دهنده بهبود تعاملات، تبادل اطلاعات و همکاری بین سازمان‌ها بوده است. این تغییرات موجب تقویت انسجام سازمانی و تبدیل رژیم حکمرانی از یک رژیم ناهماهنگ و چندپاره به رژیم چندمرکزی شده است. در توزیع متوازن‌تر قدرت و اطلاعات، دسترسی به ابزارهای همکاری و هم‌افزایی سازمانی می‌تواند به توسعه پایدار منجر و به افزایش کارایی نظام حکمرانی کمک کند. از طرفی، پژوهش تأکید می‌کند که هیچ راه‌حل قطعی و یکسانی برای همه نظام‌های حکمرانی وجود ندارد و سیستم‌ها باید با توجه به شرایط خاص طراحی شوند. رویکرد انجام شده در این پژوهش می‌تواند برای ارزیابی اثربخشی طرح‌های آینده استفاده شود. پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده به بررسی دقیق‌تر تعاملات بین سازمان‌ها و تأثیرات طولانی‌مدت این طرح‌ها بپردازند.

**واژه‌های کلیدی:** نظام حکمرانی، رژیم حکمرانی، حکمرانی سرزمین، چند مرکزی، تحلیل شبکه اجتماعی

**استناد:** قربانی، م.، گرگانی، س.، الف.، غفاری، ص.، عوض‌پور، ل. و رحیمی، م. (۱۴۰۴). تحلیل پویایی انسجام سازمانی و تعیین نظام حکمرانی سرزمین: کاربرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۷۸-۵۹.

### 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

هر سرزمین به‌عنوان مجموعه‌ای از منابع مادی و روابط اجتماعی تعریف می‌شود (Li, 2014). این منابع تقریباً برای تمام فعالیت‌های انسانی ضروری هستند (Borras et al., 2018). حکمرانی سرزمین به بررسی این موضوع می‌پردازد که چه افراد و گروه‌هایی در رابطه با چگونگی استفاده از منابع و نحوه توزیع مسئولیت‌ها در مدیریت سرزمین تصمیم‌گیری می‌کنند (Wittman et al., 2017; Borras et al., 2018).

سیستم‌های حکمرانی سرزمین نمونه‌ای از نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک هستند که از منابع، کاربران، نهادها و تعاملات متقابل تشکیل شده‌اند. نظام حکمرانی<sup>۱</sup> سرزمین، به‌عنوان مجموعه‌ای به‌هم‌پیوسته، بر ماهیت کل‌نگر حکمرانی سرزمین تأکید دارد. عملکرد حکمرانی با در نظر گرفتن ابعاد سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اداری که مؤلفه‌های اصلی آن، نهادها، کنشگران و تعاملات میان آن‌ها (رژیم حکمرانی) می‌باشد، تحلیل می‌شود؛ بنابراین، بر نحوه تعامل و همکاری عناصر مختلف (سیاسی-اجتماعی-اقتصادی-اداری) با یکدیگر تأکید دارد (اقتباس از Pahl-Wostl, 2015 در تعریف حکمرانی آب).

رژیم حکمرانی<sup>۲</sup> چهارچوب نهادی است که حکمرانی سرزمین در آن عمل می‌کند و شامل وابستگی‌های متقابل نهادها و نقش آن‌ها در مدیریت منابع سرزمین (آب و خاک) است. ساختار یک رژیم محیطی را می‌توان مجموعه‌ای از نهادها (مانند قوانین و مقررات)، کنشگران و تعاملات آن‌ها دانست (Epstein et al., 2020). طبق نظر Venot و Narayanan (۲۰۰۹)، رژیم حکمرانی طیف وسیعی از قوانین، هنجارها، سنت‌ها و ترتیبات نهادی است که تصمیم‌گیری در طول زمان توسط بازیگران مختلف را شکل می‌دهد. از این‌رو مؤلفه‌های اصلی رژیم حکمرانی شامل قوانین رسمی، هنجارهای اجتماعی و شیوه‌های حرفه‌ای است که رفتار

و تصمیم‌گیری‌ها درباره منابع آب و خاک را شکل می‌دهند. نوع رژیم حکمرانی به سازماندهی نظام حکمرانی فراگیر در سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک اشاره دارد (McGinnis & Ostrom, 2014; Kluvánková & Gežík, 2016). که می‌تواند تعابیر متفاوتی مانند تمایز بین نظام‌های دموکراتیک و استبدادی یا تک‌مرکزی و چندمرکزی<sup>۳</sup> داشته باشد (Ostrom et al., 1961).

رژیم حکمرانی در تحقیقات Morrison (۲۰۱۷) به ساختار حکمرانی و ترتیب‌های حاکم بر مدیریت مسائل محیط‌زیست، به‌ویژه مدیریت دیواره بزرگ مرجانی (GBR)<sup>۴</sup>، اشاره دارد. در این مدیریت، مجموعه‌ای از اقدامات با هدف حفظ و پایدارسازی این اکوسیستم اجرا می‌شوند. این رژیم حکمرانی شامل تمامی کنشگران و سطوح مختلف حکمرانی است که برای مقابله با تهدیدات محیط‌زیستی با یکدیگر همکاری می‌کنند. بنابراین این رژیم به ساختار خاص حکمرانی برای مدیریت GBR اشاره می‌کند، درحالی‌که نظام حکمرانی، زمینه و اثربخشی گسترده‌تری از حکمرانی محیط‌زیست، از جمله خود رژیم را در بر می‌گیرد.

پژوهشگران بر اهمیت شناخت ساختارهای مختلف حکمرانی مانند انواع رژیم‌ها، برای درک بهتر تأثیر آن‌ها بر مدیریت منابع تأکید دارند (McGinnis & Ostrom, 2014; Kluvánková & Gežík, 2016). اثربخشی یک رژیم حکمرانی به توانایی نهادها و بازیگران در دستیابی به اهداف تعیین شده وابسته است (Bauer & Knill, 2017; Morrison, 2014). تعیین رژیم حکمرانی به ما امکان می‌دهد تا پیچیدگی‌های حکمرانی را بررسی کرده و تأثیرات ترتیب‌های نهادی، روابط قدرت و ساختارهای تصمیم‌گیری بر نتایج حکمرانی را تجزیه و تحلیل کنیم. یکی از روش‌های مؤثر برای تحلیل نظام‌های حکمرانی، تحلیل شبکه اجتماعی<sup>۵</sup> است که با تمرکز بر کنشگران و روابط و به‌هم‌پیوستگی آن‌ها در

4- Great Barrier Reef  
5- Social Network Analysis

1- Governance system  
2- Governance regime  
3- Polycentric

متمرکز ناهماهنگ، ناهماهنگ و نامتمرکز یا چندپاره<sup>۸</sup>، هماهنگ متمرکز و هماهنگ نامتمرکز یا چندمرکزی تقسیم‌بندی کردند. هر یک از این رژیم‌ها ویژگی‌ها و چالش‌های خاص خود را در مدیریت منابع سرزمین دارند.

رژیم ناهماهنگ متمرکز شامل تصمیم‌گیری‌های متمرکز با هماهنگی ضعیف و اقتدار متمرکز در دست تعداد محدودی از کنشگران مرکزی است. این تمرکز می‌تواند منجر به منافع شخصی، فساد، رفتار رانت‌خواهی و تخصیص‌های ناکارآمد شود. در رژیم چندپاره، اختیارات و مسئولیت‌های تصمیم‌گیری بین کنشگران و سطوح مختلف پراکنده است و چالش‌های هماهنگی مانند همپوشانی حوزه‌های مختلف و دستورات متناقض و ناکارآمد در مدیریت آب و خاک ایجاد می‌کند. در رژیم هماهنگ متمرکز، تصمیم‌گیری‌ها متمرکز است و هماهنگی بین سطوح مختلف به خوبی انجام می‌شود. در رژیم چندمرکزی، تصمیم‌گیری بین کنشگران و سطوح مختلف پراکنده است، اما هماهنگی زیادی بین آن‌ها وجود دارد و مدیریت سازگار و تصمیم‌گیری‌های مؤثر را ممکن می‌سازد (Pahl-Wostl, 2015; Rahimi et al., 2023). مطالعات بر مزایای نظری حکمرانی چندمرکزی تأکید دارند که شامل دسترسی بهتر به دانش محلی، سیاست‌های متناسب با زمینه‌های خاص، کاهش خطر شکست منابع منطقه‌ای به دلیل راه‌های سیاست‌گذاری متعدد، بهبود تبادل اطلاعات از طریق همپوشانی و افزایش ظرفیت برای مدیریت سازگار است (Marshall, 2009). این مزایا با سه ادعای کلی در مورد حکمرانی چندمرکزی خلاصه می‌شوند: این سیستم‌ها سازگاری بیشتری با تغییرات اجتماعی و محیطی دارند، همسویی سازمانی بهتری برای نظام‌های پیچیده منابع طبیعی فراهم می‌کنند و افزونگی ذاتی<sup>۹</sup> آن‌ها به کاهش خطرات کمک می‌کند (Carlisle & Gruby, 2019).

سطوح مختلف حکمرانی، تبادل اطلاعات، هماهنگی، اشتراک منابع و فرصت‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد (Sommerville et al., 2015). این روش به محققان امکان می‌دهد تا ساختار یک شبکه حکمرانی را به درستی درک کرده، بازیگران کلیدی را شناسایی کنند و مسیرها و موانع بالقوه برای تغییر را تشخیص دهند. مطالعاتی مانند Sommerville و همکاران (۲۰۱۵)، در تحلیل روابط شبکه سازمانی سیستم‌های توسعه کار در نیکاراگوئه نشان داد که این شبکه پراکنده، فاقد هماهنگی و کنشگران مسلط است. با این حال، این شبکه تاب‌آور بوده و قادر به ادامه فعالیت‌های خود است و هیچ کنشگری نمی‌تواند در آن اختلال ایجاد کند. مطالعه Salomon و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی رژیم‌های حکمرانی در ماهیگیری شاه‌ماهی اقیانوس آرام در شمال غربی کانادا پرداخته است. این مطالعه سه نوع رژیم حکمرانی بومی، استعماری تاریخی و عدالت محیط‌زیستی را شناسایی کرد. هر رژیم نمایانگر دوره‌ای از حکمرانی با رویکردهای مختلف به مدیریت منابع است. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات رژیم حکمرانی می‌تواند تأثیرات چشمگیری بر تاب‌آوری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی داشته باشد.

در پژوهشی دیگر، Rode و da Cruz (۲۰۲۴) با استفاده از تحلیل شبکه‌های اجتماعی، ساختارهای اجتماعی زیربنای حکمرانی شهری در آدیس‌آبابا، در کشور اتیوپی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شبکه حکمرانی همگن و متمرکز، تحت سلطه نهادهای دولتی شهری است و بر جامعه‌پذیری<sup>۷</sup>، تنوع حکمرانی، فرآیندهای دموکراتیک و توسعه مشارکتی تأثیر می‌گذارد.

Pahl-Wostl و Knieper (۲۰۱۴) در مطالعه خود رژیم‌های حکمرانی را بر اساس میزان همکاری، هماهنگی و توزیع قدرت به چهار دسته رژیم‌های

8- Fragmented  
9- Redundancy inherent

6- Addis Ababa  
7- Inclusivity

مشارکتی که همکاری میان کنشگران را افزایش می‌دهد، اقتدار و انعطاف‌پذیری که به توسعه راه‌حل‌های مناسب کمک می‌کند و مکانیسم‌های تأمین مالی که پایداری را تضمین می‌کنند. این عوامل می‌توانند شرایطی برای حکمرانی سازگار و مشارکتی ایجاد و در حل مشکلات به سایر مناطق کمک کنند. هدف این مطالعه، تحلیل پویایی انسجام سازمانی از طریق بررسی تعامل و همکاری ذینفعان مختلف در نظام حکمرانی شهرستان گچساران در دو مرحله قبل و بعد از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی است. همچنین، رژیم حکمرانی موجود در این دو مرحله مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از تحلیل شبکه اجتماعی، الگوی همکاری و جریان اطلاعات بین کنشگران مختلف درگیر در حکمرانی سرزمین بررسی می‌شود تا به درک بهتری از ساختار و پویایی نظام حکمرانی دست یابیم.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شهرستان گچساران، در جنوب غربی استان کهگیلویه و بویر احمد قرار دارد و از عرض شرقی  $29^{\circ} 55'$  تا  $30^{\circ} 38'$  شمالی و طول جغرافیایی  $50^{\circ} 22'$  تا  $51^{\circ} 11'$  شرقی امتداد دارد. این منطقه در حوزه آبخیز خلیج فارس و دریای عمان قرار گرفته است. بخش قابل توجهی از این منطقه در حوزه آبخیز درجه دو زهره و جراحی و بخش جنوبی در حوزه آبخیز حله جای دارد (شکل ۱). دو نوع اقلیم معتدل و خشک در نیمه شرقی و شمالی و اقلیم گرمسیری خشک در قسمت‌های غربی و جنوبی این منطقه وجود دارد. مرکز شهرستان گچساران، شهر دوگنبدان است که دارای یک بخش مرکزی و چهار دهستان می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۷۲۰ متر، میانگین بارش سالیانه ۴۴۱ میلی‌متر و میانگین دمای هوا  $22/5$  درجه سانتی‌گراد است. جمعیت شهرستان براساس آمار سرشماری سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۲۴۰۹۶ نفر بود و

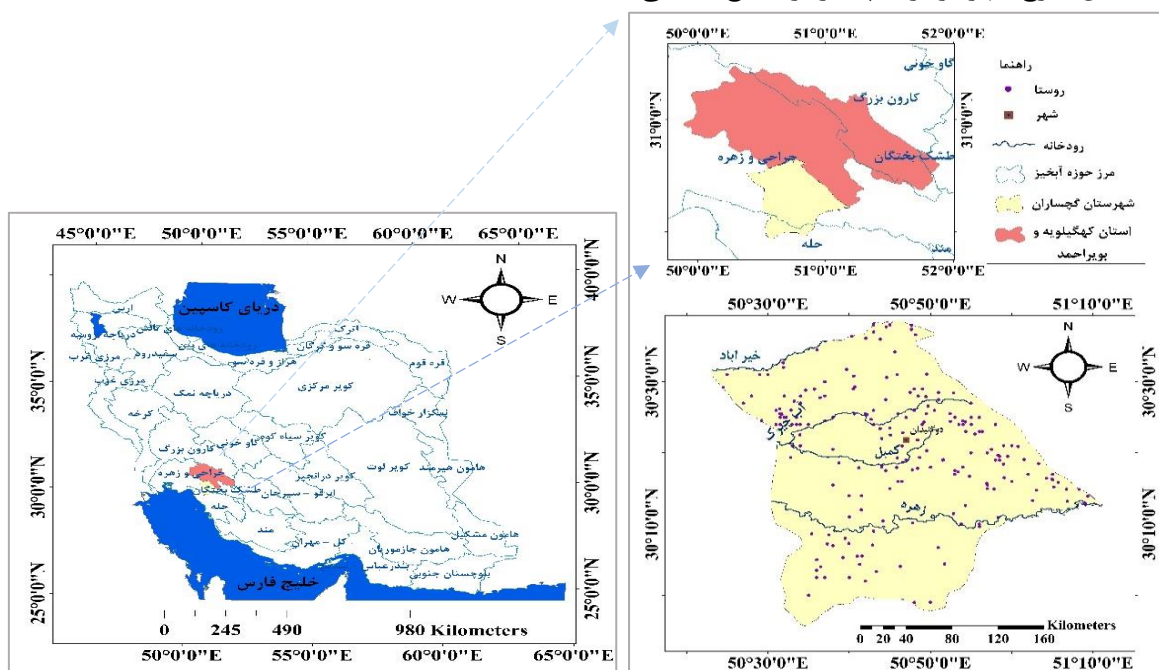
Brisbois (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به تحولات حکمرانی برق با تأکید بر تمرکززدایی پرداخت و اهمیت فرآیندهای تصمیم‌گیری مشارکتی و تطبیق ساختارهای حکمرانی با چشم‌اندازهای در حال تحول انرژی را مورد بررسی قرار داد. وی تأکید کرد که تعادل بین مشارکت عمومی و هماهنگی سیستم و تمرکززدایی، پذیرش عمومی طرح‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد و عملکرد کلی سیستم برق را تسهیل می‌کند.

در رژیم حکمرانی چندمرکزی، همکاری داوطلبانه و قراردادی نقش مهمی در حکمرانی سرزمین دارد، زیرا مراکز تصمیم‌گیری فردی نمی‌توانند به تنهایی به مسائل سرزمین رسیدگی کنند (Ostrom *et al.*, 1961). Ostrom و همکاران (۱۹۶۱) معتقد بودند که نظام‌های چندمرکزی نسبت به تک‌مرکزی برتری دارند، زیرا نهاد مسئول ارائه خدمات عمومی نباید لزوماً خود تولیدکننده آن باشد و می‌تواند توزیع کارآمدتر وظایف را فراهم آورد. McGinnis (۱۹۹۹) نیز چند مرکزیت را به‌عنوان تسهیل‌کننده ادغام واحدهای مصرف، تهیه و تولید در مقیاس‌های مختلف حکمرانی سرزمین توصیف کرد.

نظام‌های چندمرکزی، در کارهای Elinor Ostrom، به حکمرانی با مراکز متعدد تصمیم‌گیری اشاره دارند که هر کدام با درجاتی از خودمختاری عمل می‌کنند (Ostrom *et al.*, 1961; Ostrom, 2009). این سیستم‌ها مانند مراکز تصمیم‌گیری چندگانه، تا حدودی مستقل عمل کرده و در عین حال با یکدیگر همکاری و رقابت دارند. در مدیریت منابع طبیعی، این رویکرد به‌دلیل سازگاری بهتر با تغییرات و کاهش خطرات از طریق داشتن کنشگران و نهادهای حکمرانی پشتیبان، ارزشمند است (Carlisle & Gruby, 2019). مطالعات نشان داده‌اند که عوامل متعددی در موفقیت حکمرانی و انسجام سازمانی تأثیرگذار هستند؛ به‌عنوان مثال، Sixt و همکاران (۲۰۱۹) چهار عامل کلیدی موفقیت مدیریت آب‌های زیرزمینی را شناسایی کردند: حکمرانی محلی که اعتماد بین ذینفعان و رویکرد

تقویت شبکه تعاملات اجتماعی، تقویت مشارکت دست‌اندرکاران کلیدی در فرآیند توسعه منظومه، هماهنگی برنامه‌های دستگاه‌های مرتبط و تقویت اقتصاد محلی در پیوند و هم‌گرایی با اقتصاد منطقه‌ای و ملی است. اقدامات انجام‌شده شامل تدوین برنامه‌های اقدام برای توسعه مشاغل مرتبط با ویژگی‌های محلی، برگزاری ۱۳۵ جلسه و انعقاد ۱۱ تفاهم‌نامه همکاری بین دستگاهی در سطح استان و شهرستان، تشکیل ۱۹ کمیته آبادانی و پیشرفت با ۱۸۴ مشارکت عضو، برگزاری دوره‌های آموزشی و اجرای ۸۳ پروژه اقتصادی معیشتی، هفت پروژه زیرساختی-کاربردی و راه‌اندازی ۱۱ صندوق خرد محلی بوده است (Natural Disasters Research Institute, 2023).

اکثریت مردم به کشاورزی و دامپروری مشغول هستند (Natural Disasters Research Institute, 2023). طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی در راستای تحقق توسعه یکپارچه و پایدار سکونت‌های روستایی، به کارفرمایی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی در دوازده منطقه کشور، از جمله شهرستان گچساران از آذر سال ۱۳۹۸ آغاز شد. این طرح بر اساس ماده ۱۹۴ قانون برنامه پنجم توسعه، با رویکرد آمایشی و به‌دنبال ایجاد منظومه‌هایی به‌عنوان قطب‌های روستایی است. منظومه‌ها شامل گروهی از سکونتگاه‌های مرتبط هستند که با توجه به شرایط اقلیمی و اقتصادی منطقه، عرصه همگنی را تشکیل و خدمات و زیرساخت‌های لازم را دریافت می‌کنند (Garakani et al., 2023). از اهداف این طرح، بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی،



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1 - Study area

روستایی به‌عنوان جامعه آماری انتخاب شدند (جدول ۱). سازمان‌ها پرسش‌نامه تحلیل شبکه اجتماعی در مورد شدت روابط تبادل اطلاعات و همکاری با سایر نهادهای ذینفع را تکمیل کردند. اطلاعات جمع‌آوری‌شده با استفاده از مقیاس لیکرت شش نقطه‌ای از صفر (هیچ) تا ۵ (خیلی زیاد) طبقه‌بندی شدند. سپس داده‌های مربوطه به قالب باینری صفر و

## روش تحقیق

در این مطالعه، داده‌های مورد بررسی با استفاده از نظرسنجی‌های انجام شده قبل از اجرای طرح (۱۳۹۸) و بعد از اجرای طرح (۱۴۰۲) جمع‌آوری شدند. با استفاده از نمونه‌گیری شبکه کامل، ۲۲ دست‌اندرکار سازمانی مرتبط با طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های

قربانی و همکاران

یک (ماتریس) تبدیل شدند (Ghorbani et al., 2021). شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل تراکم<sup>۱۰</sup>، تمرکز<sup>۱۱</sup>، معیارهای مرکزیت درجه<sup>۱۲</sup> و شاخص نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی<sup>۱۳</sup> بود.

## جدول ۱- نقش و گروه‌بندی سازمان‌های مختلف در امور آبادانی و پیشرفت روستاها

Table 1- Roles and groupings of various organizations in rural development and advancement

ردیف	سازمان	نقش‌ها	گروه ۱	گروه ۲
1	جهاد کشاورزی	متولی اصلی امنیت غذایی	توسعه‌ای	کشاورزی و منابع طبیعی
2	حفاظت محیط‌زیست	فرهنگ‌سازی حفاظت از محیط‌زیست	حفاظتی	کشاورزی و منابع طبیعی
3	منابع طبیعی و آبخیزداری	اجرای پروژه آبخیزداری طرح جنگل‌کاری و مرتعداری	حفاظتی	کشاورزی و منابع طبیعی
4	تعاون روستایی	ارائه خدمات و توزیع نهاده‌های دامی کشور	توسعه‌ای	کشاورزی و منابع طبیعی
5	بانک کشاورزی	ارائه خدمات مالی و بانکی از جمله وام کشاورزی	توسعه‌ای	کشاورزی و منابع طبیعی
6	فرمانداری	همکاری در تهیه و اجرای طرح منظومه روستایی	واسطه‌ای	نظارت و امنیت
7	بخشداری	نظارت بر امور	واسطه‌ای	نظارت و امنیت
8	فرماندهی نیروی انتظامی	حفظ امنیت و نظم عمومی جامعه	واسطه‌ای	نظارت و امنیت
9	فنی و حرفه‌ای	آموزش رشته‌های موردنظر روستاها	واسطه‌ای	فرهنگ و آموزش
10	میراث فرهنگی و گردشگری	توسعه اقامت‌گاه‌های روستایی و معرفی مناطق هدف گردشگری	حفاظتی	فرهنگ و آموزش
11	ورزش و جوانان	نظارت و هماهنگی در فعالیتهای ورزشی	واسطه‌ای	فرهنگ و آموزش
12	آموزش و پرورش	ارتقای کیفیت فرآیندهای آموزشی و تعامل با مردم	واسطه‌ای	فرهنگ و آموزش
13	امور آب	نظارت بر برداشت آب و جلوگیری از مصرف غیرمجاز آب	حفاظتی	زیرساخت و توسعه
14	آب و فاضلاب روستایی	تامین آب آشامیدنی سالم	توسعه‌ای	زیرساخت و توسعه
15	مدیریت توزیع برق	توزیع برق به مشترکین، تعمیر شبکه‌ها و تاسیسات	توسعه‌ای	زیرساخت و توسعه
16	بنیاد مسکن	پروژه‌های عمرانی و تهیه و اجرای طرح منظومه روستایی	توسعه‌ای	زیرساخت و توسعه
17	صنعت، معدن و تجارت	توسعه بخش‌های صنعتی و معدنی	توسعه‌ای	زیرساخت و توسعه
18	کار و رفاه اجتماعی	تشکیل تعاونی-ایجاد اشتغال	واسطه‌ای	رفاه و خدمات اجتماعی
19	کمیته امداد	اشتغال‌زایی- تامین معیشت-احداث مسکن	توسعه‌ای	رفاه و خدمات اجتماعی
20	بهبودی	احداث مسکن روستایی	توسعه‌ای	رفاه و خدمات اجتماعی
21	مرکز بهداشت	تامین و ارتقاء خدمات بهداشتی و درمانی	حفاظتی	رفاه و خدمات اجتماعی
22	صندوق کارآفرینی امید	پرداخت تسهیلات	توسعه‌ای	رفاه و خدمات اجتماعی

کشاورزی، صنعتی و مدیریتی است و اغلب دارای انگیزه افزایش سوددهی اقتصادی هستند. سازمان‌های واسطه‌ای، همکاری را تسهیل و خدمات پشتیبانی مانند ظرفیت‌سازی، گسترش مطالعات و تحقیق ارائه می‌دهند. از اهداف سازمان‌های واسطه‌ای می‌توان به برقراری ارتباط سازنده بین سازمان‌های توسعه‌ای و حفاظتی اشاره کرد. هدف سازمان‌های حفاظتی،

همچنین مؤسسات بر اساس نقش‌های نهادی در حکمرانی سرزمین و ارتباط با طرح منظومه‌های روستایی به دو صورت گروه‌بندی شدند. در گروه‌بندی اول، تمام دست‌اندرکاران به سه زیرگروه سازمان‌های با نقش حفاظتی، توسعه‌ای و واسطه‌ای تقسیم‌بندی شدند (Ahmadi et al., 2019; Rahimi et al., 2023). هدف مؤسسات توسعه‌ای، پیشرفت بخش‌های

12- Degree centrality

13- Intra-group and extra-group relations (E-I)

10- Density

11- Centralization

نشان دهنده این است که ارتباطات به گروه محدودی از کنشگران اختصاص دارد. برای محاسبه شاخص تمرکز، از مقادیر مرکزیت درجه در سطح خرد استفاده می‌شود. ابتدا، مقادیر نرمال شده مرکزیت درجه برای هر گره در شبکه محاسبه می‌شود و سپس تفاوت میان بالاترین مرکزیت درجه و مرکزیت درجه هر گره در شبکه تعیین می‌شود. میانگین این تفاوت‌ها (که از تقسیم مجموع اختلاف‌ها بر تعداد کل گره‌ها منهای یک به دست می‌آید) میزان تمرکز شبکه را نشان می‌دهد. به همین ترتیب، تمرکز شبکه درجه ورودی و خروجی نیز محاسبه می‌شود. مرکزیت درجه اهمیت یک گره را بر اساس ارتباطات مستقیم آن با گره‌های دیگر اندازه‌گیری می‌کند و توانایی گره در برقراری ارتباط و تعامل مستقیم با سایر ذینفعان است. هرچه مرکزیت درجه یک کنشگر بیشتر باشد، موقعیت و قدرت آن در شبکه ارتباطات بالاتر است (Zheng et al., 2024). در گراف‌های جهت‌دار، این شاخص به صورت مرکزیت درجه ورودی و خروجی ارائه می‌شود. شاخص دیگری که در هر سه سطح کلان، خرد و میانی محاسبه شد، نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی (E-I) است. این شاخص از طریق محاسبه تفاوت بین پیوندهای بیرونی و درونی و نسبت آن با تعداد کل پیوندها در شبکه به دست می‌آید (Bodin et al., 2006). پیوندهای بیرونی به پیوند بین زیرگروه‌های مختلف یا پیوندهای پلی اشاره دارند. افراد دارای شاخص E-I مثبت، دارای پیوندهای برون‌گروهی بیشتری نسبت به سایرین و انسجام بین گروهی بالاتر هستند. درحالی‌که این شاخص منفی باشد، انسجام درون‌گروهی بالاتر است (Bodin & Prell, 2011). این شاخص نشان دهنده اندازه ارتباطات برون‌گروهی نسبت به ارتباطات درون‌گروهی است.

### نتایج

در این مطالعه، ساختار شبکه حکمرانی سرزمین از طریق محاسبه شاخص‌های تراکم و تمرکز در سطح

حفاظت از منابع آب و خاک و محیط‌زیست برای تضمین بهره‌برداری مناسب، مستمر و همسو با اهداف توسعه پایدار است.

در گروه‌بندی دوم، سازمان‌ها به پنج زیرگروه تقسیم شدند. (۱) زیرگروه کشاورزی و منابع طبیعی بر توسعه کشاورزی و مدیریت منابع طبیعی متمرکز و اهداف اصلی آن شامل تأمین امنیت غذایی، ارتقاء کشاورزی و دامپروری و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی است. (۲) زیرگروه خدمات و رفاه اجتماعی، به ارائه خدمات رفاهی و اجتماعی و بهبود وضعیت معیشتی جامعه می‌پردازد. (۳) زیرگروه فرهنگ و آموزش، به ارتقاء سطح آموزش و فرهنگ در جامعه روستایی، بهبود کیفیت زندگی و ترویج فعالیت‌های فرهنگی و ورزشی می‌پردازد. (۴) زیرگروه زیرساخت و توسعه وظیفه توسعه و مدیریت زیرساخت‌های اساسی و اقتصادی منطقه و بهبود کیفیت زندگی در روستاها را به عهده دارد. (۵) زیرگروه نظارت و امنیت نیز در تأمین نظم و امنیت عمومی، نظارت بر اجرای طرح‌های توسعه‌ای و ارتقاء هماهنگی بین سازمانی نقش دارد.

تحلیل شبکه اجتماعی از مبانی ریاضی نظریه گراف استفاده می‌کند که ساختارها را به عنوان گره‌ها و پیوندهای بین آن‌ها نشان می‌دهد (Scott, 2015). نتایج تحلیل شبکه سازمانی را می‌توان در هر دو سطح کل شبکه و سازمان فردی تجزیه و تحلیل کرد (Sommerville et al., 2015). تراکم به عنوان نماینده‌ای برای انسجام اجتماعی و سازمانی عمل می‌کند (Bodin & Crona, 2009). این شاخص نسبت تعداد پیوندهایی که در عمل در شبکه وجود دارند به کل پیوندهایی که به صورت بالقوه می‌تواند در شبکه مورد نظر وجود داشته باشد را نشان می‌دهد (Scott, 2015; Zheng et al., 2024). در شبکه‌های با تراکم بالا، کنشگران دارای همکاری و هماهنگی بالایی هستند و اطلاعات را به اشتراک می‌گذارند (Maas, 2011).

تمرکز شبکه معیار دیگری در سطح کلان شبکه است که میزان متمرکز بودن ارتباطات میان گره‌های یک شبکه را مشخص می‌کند. میزان بالای این شاخص

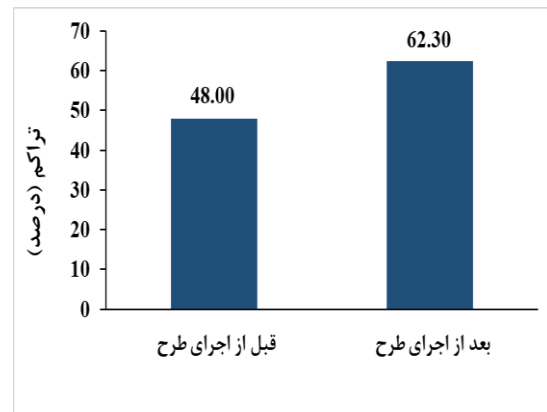
## قربانی و همکاران

می‌دهند که ارتباطات داخلی (درون‌گروهی) و خارجی (بین‌گروهی) چگونه توزیع شده‌اند. قبل از اجرای طرح، سازمان‌های حفاظتی بیشترین ارتباط را در زیرگروه خود (۵۸/۳) و زیرگروه واسطه‌ای و کمترین ارتباط (تراکم ۳۰ درصد) را با زیرگروه توسعه‌ای داشتند. پس از اجرای طرح، افزایش چشمگیری در ارتباطات زیرگروه حفاظتی مشاهده شد، به طوری که با زیرگروه خود حداکثر ارتباط و با زیرگروه واسطه‌ای و توسعه‌ای ارتباط بالای ۷۰ درصد داشته‌اند. این نتایج، نشان‌دهنده بهبود همکاری و نقش مهم این زیرگروه در همکاری‌های بین‌سازمانی است.

سازمان‌های واسطه‌ای در قبل از اجرای طرح، بیشترین همکاری را با خود (۴۸/۲ درصد) و کمترین همکاری را با سازمان‌های توسعه‌ای (۳۷/۵ درصد) داشتند. تراکم ارتباط زیرگروه واسطه‌ای با حفاظتی پس از اجرای طرح کاهش جزئی داشت. همچنین همکاری داخلی ثابت باقی ماند اما بهبود جزئی در همکاری و ارتباط با سازمان‌های توسعه‌ای رخ داد.

زیرگروه توسعه‌ای قبل از اجرای طرح، بیشترین تعامل را با خود (۲۸/۱ درصد) و کمترین همکاری را با زیرگروه حفاظتی (۲۰ درصد) داشت. پس از اجرای طرح، بهبود همکاری با همه زیرگروه‌ها، به خصوص زیرگروه خود (۳۵/۶ درصد) رخ داد.

کلان شبکه در دو مرحله قبل و بعد از اجرای طرح منظومه‌های روستایی بررسی شد. نحوه توزیع شاخص مرکزیت درجه در شبکه و همچنین شاخص تراکم و نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی در گروه‌بندی‌های مختلف بررسی شد. در نهایت، نوع رژیم حکمرانی با توجه به میزان همکاری، هماهنگی و توزیع قدرت در قبل و بعد از اجرای طرح، شناسایی شد. در شکل ۲ میزان تراکم شبکه قبل و بعد از اجرای طرح ارائه شده است. میزان تراکم شبکه از ۴۸ درصد در قبل از اجرای طرح به ۶۲/۳ درصد در بعد از اجرای طرح افزایش یافته است.



شکل ۲- سنجح تراکم شبکه

Figure 2- Network density metric

میزان شاخص تراکم در گروه‌بندی‌های انجام شده در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. این ماتریس‌ها نشان

جدول ۲- سنجح تراکم در شبکه تبادل اطلاعات و همکاری دست‌اندرکاران سازمانی در بین زیرگروه‌های گروه نوع اول

Table 2- Network density of information exchange and collaboration among type 1 subgroups

مرحله	زیرگروه‌ها	حفاظتی	واسطه‌ای	توسعه‌ای
قبل از اجرای طرح	حفاظتی	58.3	43.8	30
	واسطه‌ای	40.6	48.2	37.5
	توسعه‌ای	20	26.2	28.1
بعد از اجرای طرح	حفاظتی	100	71.9	72.5
	واسطه‌ای	34.4	48.2	38.7
	توسعه‌ای	30	33.8	35.6

نظارت و امنیت به ۸۰ درصد رسید. درحالی‌که با رفاه و خدمات اجتماعی در حدود ۳۲ درصد بوده است. زیرگروه زیرساخت و توسعه قبل از اجرای طرح، تراکم ارتباط کمی با فرهنگ و آموزش و رفاه و خدمات اجتماعی و سایر زیرگروه‌ها داشت اما بعد از اجرای

در گروه‌بندی دوم، قبل از اجرای طرح، زیرگروه کشاورزی و منابع طبیعی بیشترین همکاری (۶۶/۷ درصد) را با نظارت و امنیت و کمترین را با رفاه و خدمات اجتماعی داشت. پس از طرح، همکاری با تمام زیرگروه‌ها افزایش یافت، به طوری‌که میزان همکاری با

اجرای طرح، این زیرگروه همکاری بیشتری با کشاورزی و منابع طبیعی یافته اما میزان همکاری با سایر زیرگروه‌ها ثابت باقی مانده است. در نهایت زیرگروه نظارت و امنیت قبل از اجرای طرح، همکاری بالایی با کشاورزی و منابع طبیعی (۶۶/۷ درصد) و کمترین همکاری را با رفاه و خدمات اجتماعی داشت. پس از اجرای طرح، همکاری با تمام زیرگروه‌ها نسبتاً افزایش اما با زیرساخت و توسعه و نظارت و امنیت به مقدار کمی کاهش یافت.

طرح، همکاری با تمام زیرگروه‌ها افزایش یافت. زیرگروه فرهنگ و آموزش قبل از اجرای طرح، بالاترین ارتباط (۴۱/۷ درصد) را با نظارت و امنیت و کمترین ارتباط (۲۰ درصد) را با زیرساخت و توسعه داشت. پس از اجرای طرح، این زیرگروه همکاری بالاتری با سایر زیرگروه‌ها داشته است. زیرگروه رفاه و خدمات اجتماعی قبل از اجرای طرح بالاترین همکاری را با نظارت و امنیت (۶۰ درصد) و کمترین تراکم را با خود (۳۰ درصد) و کشاورزی و منابع طبیعی داشت. بعد از

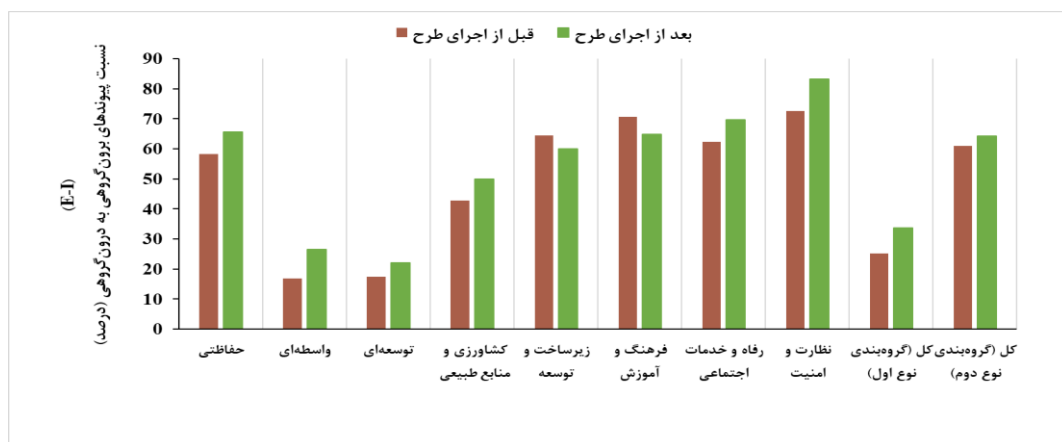
جدول ۳- تراکم شبکه تبادل اطلاعات و همکاری در بین زیرگروه‌های گروه نوع دو

Table 3- Network density of information exchange and collaboration among type 2 subgroups

مرحله	زیرگروه	کشاورزی و منابع طبیعی	زیرساخت و توسعه	فرهنگ و آموزش	رفاه و خدمات اجتماعی	نظارت و امنیت
قبل از اجرای طرح	کشاورزی و منابع طبیعی	55	48	40	28	66.7
	زیرساخت و توسعه	12	21.1	5	8	26.7
	فرهنگ و آموزش	25	20	25	30	41.7
	رفاه و خدمات اجتماعی	32	40	45	30	60
بعد از اجرای طرح	نظارت و امنیت	40	60	33.3	46.7	66.7
	کشاورزی و منابع طبیعی	65	56	40	32	80
	زیرساخت و توسعه	32	35	30	32	26.7
	فرهنگ و آموزش	35	35	41.7	50	58.3
	رفاه و خدمات اجتماعی	40	40	45	35	60
نظارت و امنیت	46.7	53.3	58.3	66.7	50	

همکاری‌های بین سازمانی در بین اکثر زیرگروه‌ها افزایش یافته است.

شکل ۳ تغییرات شاخص E-I در سطح زیرگروه‌های مختلف و کل شبکه را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پس از اجرای طرح، تعاملات و



شکل ۳- تغییرات در نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی (قبل و بعد از اجرای طرح)

Figure 3 - Changes in the ratio of intra-group and extra-group relation (Before and After Project Implementation)

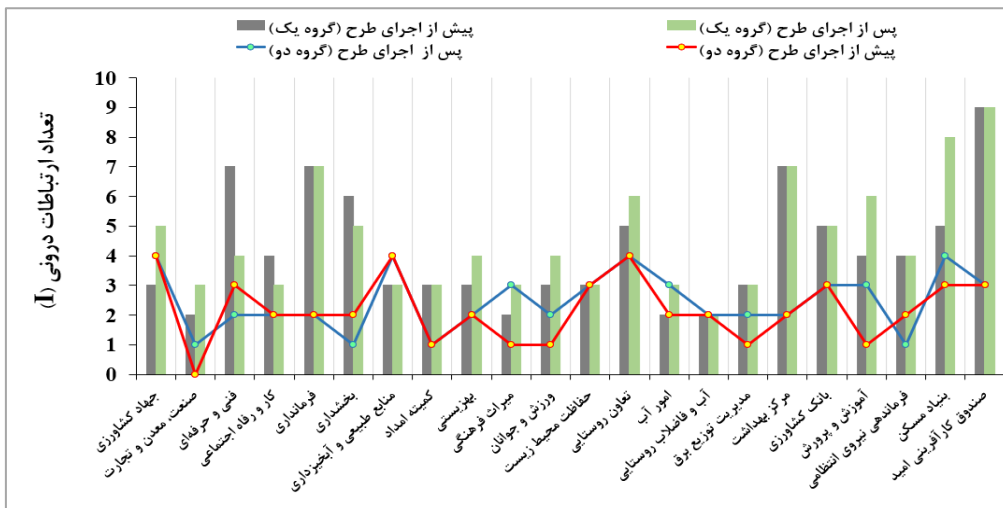
قربانی و همکاران

داشته‌اند. همچنین، فرماندهی نیروی انتظامی، ارتباطات درونی را کاهش و ارتباطات بیرونی را افزایش داده است.

در شکل ۵، در گروه‌بندی نوع اول، تعداد ارتباطات بین گروهی قبل از اجرای طرح ۱۵۴ و پس از اجرای طرح به ۲۰۲ رسیده است. همچنین تعداد این ارتباطات قبل از اجرای طرح ۱۹۸ و پس از اجرای طرح ۲۴۸ بوده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، به‌جز سازمان فنی و حرفه‌ای، در تمامی سازمان‌ها و در هر دو نوع گروه‌بندی، تعداد ارتباطات بین گروهی پس از اجرای طرح افزایش یافته است.

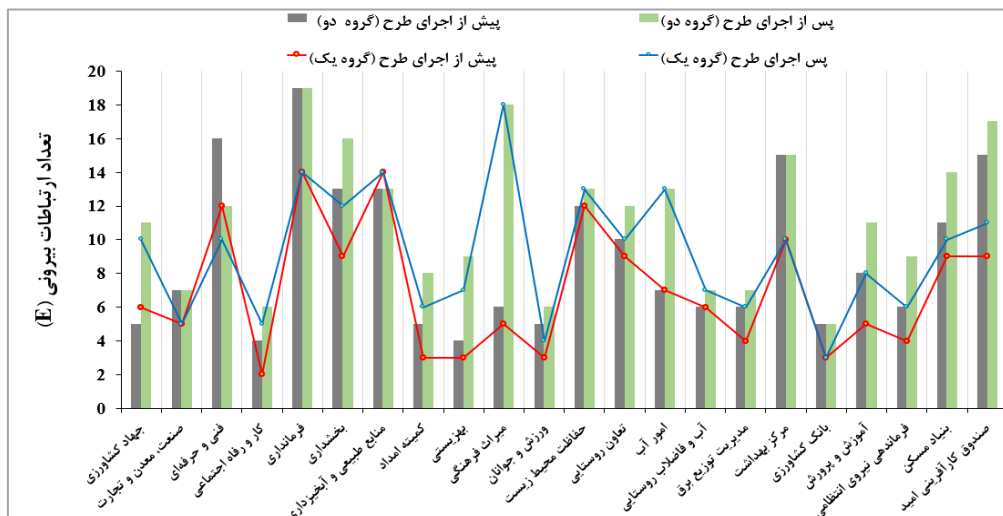
تعداد ارتباطات درونی در سطح کنشگران در گروه‌بندی‌های نوع اول و دوم در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. براساس گروه‌بندی نوع اول، تعداد کل ارتباطات داخلی قبل از اجرای طرح ۹۲ و بعد از اجرای طرح ۱۰۰ بوده است. همچنین، در گروه‌بندی نوع دوم، تعداد ارتباطات داخلی قبل از اجرای طرح ۴۸ و پس از اجرای طرح ۵۴ می‌باشد.

در هر دو گروه‌بندی، سازمان فنی و حرفه‌ای کاهش در ارتباطات داخلی را تجربه کرده است. در گروه‌بندی نوع دوم، کار و رفاه اجتماعی و بخشداری کاهش در ارتباطات درون گروهی و افزایش در ارتباطات بین



شکل ۴- تعداد ارتباطات درونی در شبکه تبادل اطلاعات و همکاری

Figure 4- Number of internal connections in the network of information exchange and collaboration

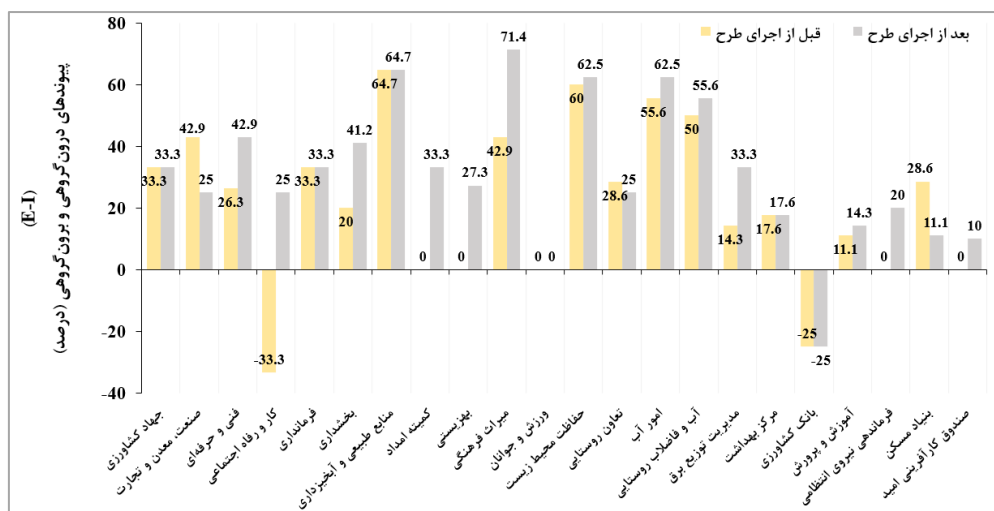


شکل ۵- تعداد ارتباطات بیرونی در شبکه تبادل اطلاعات و همکاری

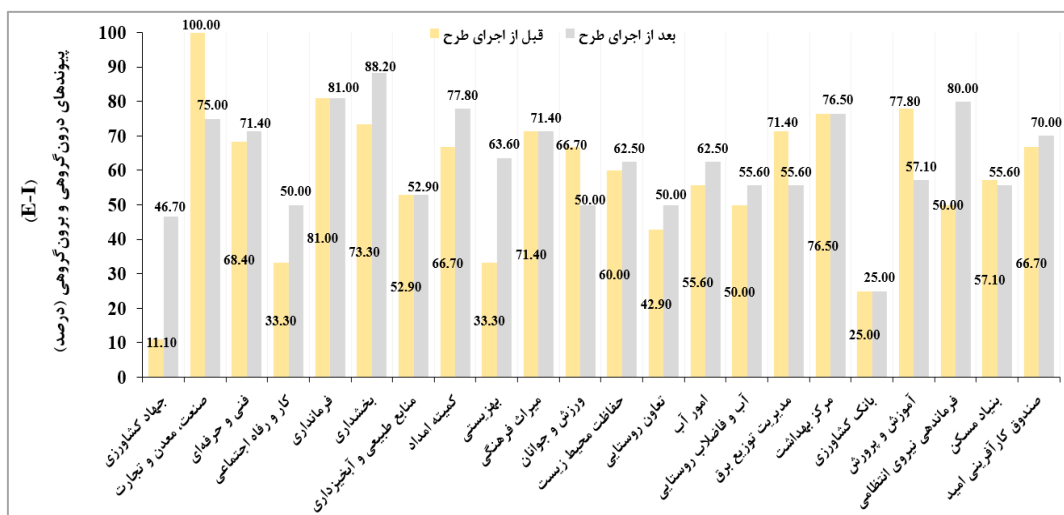
Figure 5- Number of external connections in the network of information exchange and collaboration

در سازمان‌های کار و رفاه اجتماعی، میراث فرهنگی و گردشگری و کمیته امداد دیده می‌شود. همچنین در گروه‌بندی دوم افزایش قابل توجه این شاخص در کشاورزی، بهزیستی و فرماندهی نیروی انتظامی دیده می‌شود. کاهش شاخص E-I (شکل ۷) در سازمان‌های صنعت، معدن و تجارت، توزیع برق و بنیاد مسکن و همچنین آموزش و پرورش و ورزش و جوانان پس از اجرای طرح مشاهده شده است.

شاخص نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی (E-I) در گروه‌بندی نوع اول و دوم، به‌ترتیب در شکل ۶ و ۷ نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که در اکثر سازمان‌ها، میزان این شاخص مثبت و افزایشی و تمایل به ارتباطات بین‌گروهی بیشتر از ارتباطات درون‌گروهی است. در گروه‌بندی نوع اول، افزایش قابل توجه این شاخص



شکل ۶- مقادیر شاخص نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی کنشگران سازمانی در گروه‌بندی نوع اول  
Figure 6 - Intra-group and extra-group relation values of organizational actors in grouping type 1



شکل ۷- مقادیر شاخص نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی کنشگران سازمانی در گروه‌بندی نوع دوم  
Figure 7- Intra-group and extra-group relation values of organizational actors in grouping type 2

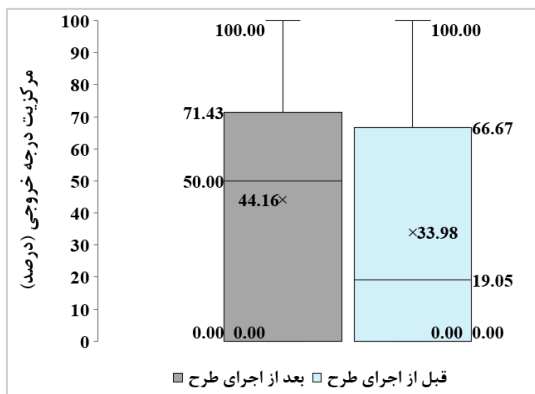
۳۳/۹۸ به ۴۴/۱۶ درصد) و میانه (از ۳۳/۳۳ به ۴۲/۸۶ درصد) مرکزیت درجه ورودی، نشان‌دهنده بهبود کلی

نمودار توزیع مرکزیت درجه ورودی در شکل ۸ نمایش داده شده است. در این نمودار، افزایش میانگین (از

## قربانی و همکاران

نمودار توزیع مرکزیت درجه خروجی در شکل ۹ نمایش داده شده است. افزایش میانگین (از ۳۳/۹۸ به ۴۴/۱۶ درصد) و میانه (از ۱۹/۰۵ به ۵۰ درصد)، نشان‌دهنده این است که پس از اجرای طرح، سازمان‌های بیشتری به سایر کنشگران مراجعه و در ارتباطات شبکه‌ای فعال شده‌اند.

افزایش چارک سوم، نشان‌دهنده بهبود در سطح بالاترین سه‌چهارم و تقویت اثرگذاری سازمان‌های فعال‌تر است. ثابت ماندن چارک اول، نشان‌دهنده نیاز به توجه بیشتر به سازمان‌هایی است که کمترین فعالیت‌ها را دارند. این موضوع نشان می‌دهد که هنوز نیاز به بهبود در پایین‌ترین سطوح وجود دارد.



شکل ۹- نمودار جعبه‌ای مرکزیت درجه خروجی

Figure 9- Box-Whisker Plot of out-degree centrality

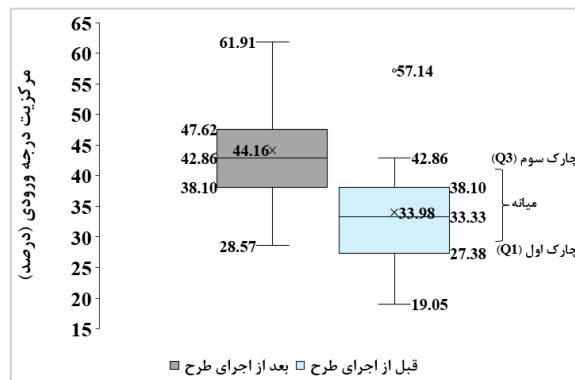
نمودار توزیع مرکزیت کلی در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه مرکزیت درجه ثابت باقی مانده است که نشان‌دهنده سطح بالای ارتباطات و تأثیرگذاری دست‌اندرکاران کلیدی است.

افزایش کمیانه (از ۲۸/۵۷ تا ۳۸/۱ درصد) نشان می‌دهد که حتی دست‌اندرکارانی که کمترین سطح ارتباطات را داشته‌اند، پس از اجرای طرح توانسته‌اند نقش خود را تقویت کنند. این به معنای بهبود کلی در حداقل سطح مشارکت و همکاری در شبکه است. افزایش میانگین و میانه نیز نشان‌دهنده بهبود کلی در سطح مرکزیت درجه دست‌اندرکاران و افزایش همکاری و ارتباطات در سطح کل شبکه است.

در سطح اطلاعات و همکاری بین دست‌اندرکاران و به معنای ارتقاء سطح همکاری و کارایی طرح توسعه است. همچنین افزایش بیشینه (از ۴۲/۸۶ به ۶۱/۹۱ درصد) و کمیانه (از ۱۹/۰۵ به ۲۸/۵۷ درصد) مرکزیت درجه ورودی، نشان می‌دهد که گستره‌ی اطلاعات و همکاری بین دست‌اندرکاران پس از اجرای طرح توسعه روستایی وسیع‌تر شده است، که به معنای دسترسی بیشتر به منابع اطلاعاتی و ابزارهای همکاری است.

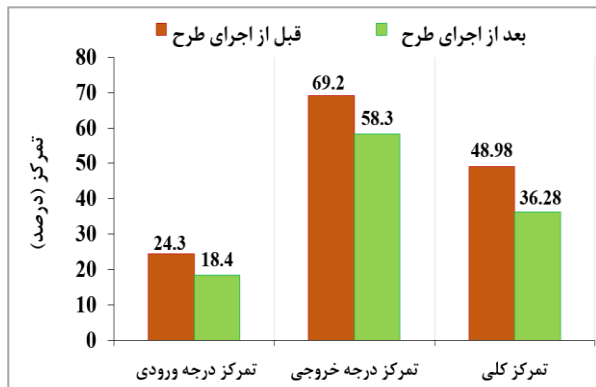
افزایش صدک ۲۵ (چارک اول) از ۲۷/۳۸ به ۳۸/۱ درصد و صدک ۷۵ (چارک سوم) از ۳۸/۱ به ۴۷/۶۲ درصد نشان‌دهنده بهبود در تمامی سطوح اطلاعات و همکاری است. این به معنای کاهش تفاوت‌ها و نابرابری‌ها در دسترسی به اطلاعات و ابزارهای همکاری بین دست‌اندرکاران است و نشان‌دهنده این است که همه‌ی سطوح شبکه از مزایای طرح منظومه‌های روستایی بهره‌مند شده‌اند.

وجود نقطه پرت فرمانداری در قبل از اجرای طرح نشان‌دهنده اقتدار این سازمان نسبت به سایر سازمان‌ها و نبود نقطه پرت پس از اجرای طرح، نشان‌دهنده یکنواخت‌تر شدن توزیع اطلاعات و همکاری در شبکه است. این به معنای کاهش اختلاف‌ها و بهبود همگونی در دسترسی به منابع و ابزارهای همکاری بین دست‌اندرکاران است و نشان می‌دهد سایر دست‌اندرکاران به سطح اقتدار فرمانداری نزدیک‌تر شده‌اند.



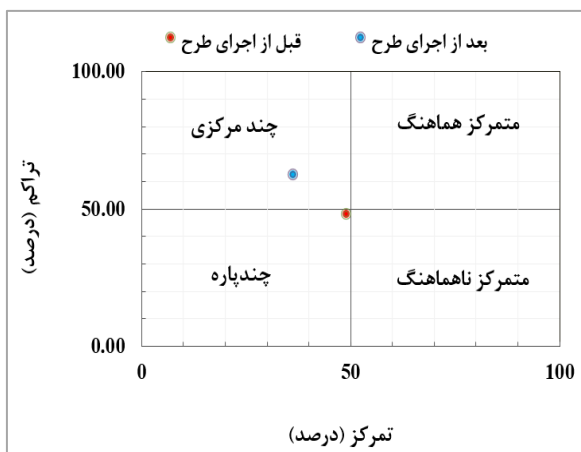
شکل ۸- نمودار جعبه‌ای مرکزیت درجه ورودی

Figure 8- Box-Whisker Plot of in-degree centrality



شکل ۱۱- سنجه تمرکز شبکه  
Figure 11. Network centralization metric

در نهایت، با بررسی میزان هماهنگی و همکاری و توزیع قدرت در شبکه دست‌اندرکاران سازمانی، نوع رژیم حکمرانی در قبل و بعد از اجرای طرح تعیین شد.



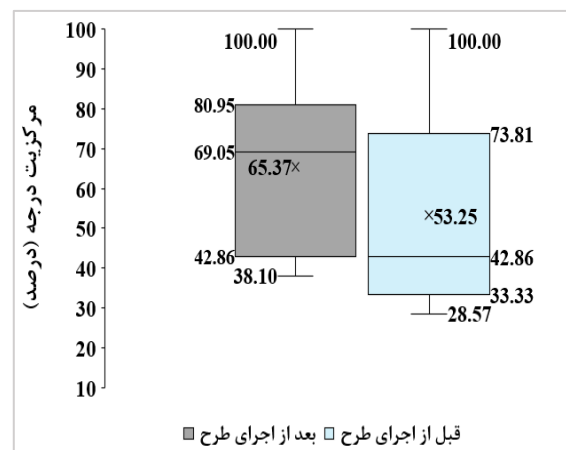
شکل ۱۲- تعیین رژیم حکمرانی سرزمین  
Figure 12- Determining land governance regime

اجرای طرح توسعه روستایی منجر به تغییر رژیم حکمرانی از یک رژیم چندپاره به رژیم چندمرکزی شده است. این تغییر نشان‌دهنده افزایش همکاری و هماهنگی بین دست‌اندرکاران است.

### بحث

در این مطالعه، تغییرات ساختار شبکه حکمرانی سرزمین و پویایی انسجام سازمانی از طریق محاسبه شاخص‌های تراکم و تمرکز شبکه بررسی شده است. همچنین، تغییرات شاخص نسبت پیوندهای برون‌گروهی به درون‌گروهی (E-I) و توزیع مرکزیت

افزایش چارک اول پس از اجرای طرح، نشان‌دهنده بهبود در پایین‌ترین چارک دست‌اندرکاران و به معنای کاهش نابرابری‌ها و بهبود وضعیت سازمان‌هایی است که در گذشته کمترین ارتباطات را داشته‌اند. همچنین، افزایش چارک سوم نشان‌دهنده بهبود در بالاترین چارک دست‌اندرکاران است که به معنای تقویت بیشتر سازمان‌هایی است که در گذشته بالاترین سطح ارتباطات را داشته‌اند.



شکل ۱۰- نمودار جعبه‌ای مرکزیت درجه کل  
Figure 10- Box-Whisker Plot of degree centrality

شکل ۱۱، تمرکز شبکه قبل و بعد از اجرای طرح را به تصویر می‌کشد. این شاخص تمرکز کلی درجه نشان‌دهنده چگونگی تمرکز دریافت و ارسال اطلاعات در کل سطح شبکه است. شاخص تمرکز درجه خروجی در هر دو مرحله، قبل و بعد از اجرای طرح، بالاتر از حد متوسط است که مبین آن است که بیش از نیمی از پیوندهای پراکنش و توسعه اطلاعات و منابع در دست کنشگران مرکزی قرار دارد. مقدار تمرکز درجه ورودی کمتر از حد متوسط در قبل و بعد از اجرای طرح نشان می‌دهد که تقریباً توزیع متوازی از دریافت اطلاعات در شبکه وجود دارد. به‌طور کلی، پس از اجرای طرح، مقدار تمرکز درجه ورودی، خروجی و تمرکز درجه کلی شبکه کاهش یافته است. این کاهش، نشان‌دهنده توزیع بیشتر و متوازن‌تر اطلاعات و منابع در شبکه است.

در همین راستا، زیرگروه فرهنگ و آموزش نیز، افزایش همکاری با سایر زیرگروه‌ها را تجربه کرد. این نتایج حاکی از آن است که اجرای طرح منظومه‌های روستایی منجر به بهبود قابل توجهی در سطح تعاملات و همکاری‌های بین‌گروهی شده است.

مطالعه Kegler و همکاران (۲۰۱۰) در تحلیل شبکه اجتماعی، همکاری بین سازمان‌ها در سایت سوپراند تارکریک در شمال شرقی ایالت اوکلاهما نشان داد که شاخص تراکم هم برای شبکه کامل و هم زیرمجموعه‌ای از سازمان‌های قبلیه‌ای افزایش یافته و تمرکز شبکه تبادل اطلاعات در طول زمان کاهش پیدا کرده است، که نشان‌دهنده توزیع یکنواخت‌تر اطلاعات و کاهش سلسله مراتب بود.

براساس نتایج شاخص E-I، اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی موجب تقویت انسجام سازمانی برون‌گروهی شده است که می‌تواند به افزایش تنوع منابع و تقویت نوآوری منجر شود. این نتایج با مطالعه (Ghorbani *et al.*, 2017) مطابقت دارد. کاهش شاخص E-I در برخی سازمان‌ها نظیر صنعت، معدن و تجارت، توزیع برق، و آموزش و پرورش بیانگر تمرکز بیشتر بر تعاملات داخلی است که نیاز به بررسی و تقویت انسجام بین‌گروهی در این سازمان‌ها دارد. زیرگروهی منسجم است که کنشگران در آن، توسط نسبت بالایی از پیوندهای مثبت تبادل اطلاعات و همکاری به یکدیگر مرتبط هستند (Amiri *et al.*, 2022). زیرگروه‌هایی که دارای پیوندهای بین‌گروهی بیش‌تر هستند، می‌توانند از منابع خارجی بهره بیشتری ببرند و این پیوندها ساماندهی فرآیند مدیریت مشارکتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Bodin & Prell, 2011).

از آنجا که شاخص E-I نسبت تعاملات خارجی به تعاملات داخلی را اندازه‌گیری می‌کند، اگر کاهش در ارتباطات داخلی به‌میزان بیشتری نسبت به ارتباطات خارجی باشد، این نسبت افزایش خواهد یافت؛ همانند سازمان فنی و حرفه‌ای که با وجود کاهش در ارتباطات داخلی و خارجی، میزان شاخص E-I مثبت داشته است.

درجه در دو مرحله قبل و بعد از اجرای طرح منظومه‌های روستایی مورد ارزیابی قرار گرفت. درک تأثیر ویژگی‌های ساختاری شبکه بر حکمرانی منابع طبیعی نشان می‌دهد که تراکم، که نشان‌دهنده درصد ارتباطات و تعاملات اعضای شبکه است، به‌طور قابل توجهی بر نتایج حکمرانی تأثیر می‌گذارد (Tolera & Senbeta, 2023)؛ زیرا تعداد بیشتری از پیوندهای اجتماعی فرصت‌های همکاری، توسعه اعتماد متقابل و اقدام جمعی را افزایش می‌دهد (Sandström & Rova, 2009). علاوه بر این، تراکم بیشتر شبکه از تولید مشترک دانش پشتیبانی می‌کند که برای تقویت تاب‌آوری در سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی بسیار مهم است (Bodin & Crona, 2009).

در این مطالعه افزایش تراکم کلی شبکه نسبت به قبل از اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی، نشان‌دهنده گسترش ارتباطات، تبادل اطلاعات و بهبود هماهنگی بین سازمان‌ها است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که پس از اجرای طرح، همکاری و تعاملات بین گروهی به‌طور کلی افزایش یافته است. پس از اجرای طرح، افزایش شاخص تراکم در تمامی زیرگروه‌ها، به‌خصوص در توسعه‌ای و حفاظتی، مشاهده شد. همچنین سازمان‌های واسطه‌ای نقش مهمی در تسهیل همکاری بین سایر زیرگروه‌ها دارند. با این حال، نیاز به تقویت همکاری داخلی و بین‌سازمانی، به‌ویژه برای گروه‌های واسطه‌ای و توسعه‌ای، همچنان وجود دارد.

زیرگروه کشاورزی و منابع طبیعی که پیش از اجرای طرح بیشترین همکاری (۶۶٪ درصد) را با نظارت و امنیت و کمترین تعامل (۲۸ درصد) را با رفاه و خدمات اجتماعی داشت، پس از اجرای طرح توانست تعاملات تبادل اطلاعات و همکاری خود را با زیرگروه نظارت و امنیت به مراتب افزایش دهد (۸۰ درصد)، هرچند همکاری با رفاه و خدمات اجتماعی هنوز نسبتاً کم و در حدود ۳۲ درصد باقی مانده است. همچنین، زیرگروه زیرساخت و توسعه که قبل از اجرای طرح تراکم ارتباط کمی با فرهنگ و آموزش و رفاه و خدمات اجتماعی داشت، پس از طرح همکاری‌های خود را افزایش داد.

به بررسی نظام آلودگی هوا با استفاده از تحلیل شبکه اجتماعی در اجرای قانون هوای پاک پرداختند، نشان داد که شبکه سازمانی دارای انسجام کمی است و همکاری و هماهنگی بین سازمان‌ها ضعیف است. نظام حکمرانی در این مطالعه از نوع متمرکز و ناکارآمد شناسایی شد؛ بنابراین تعیین رژیم حکمرانی تحلیل ما از سیستم حکمرانی را تکمیل و درک ما را از ماهیت چندبعدی حکمرانی در توسعه روستایی غنی می‌کند. هدف از این پژوهش این نیست که گفته شود نظام‌های حکمرانی چندمرکزی به‌عنوان پاسخ قطعی برای نظام‌های حکمرانی منابع طبیعی معرفی شوند. همان‌طور که Elinor Ostrom به گفتن آن مشهور بود، هیچ نوسدادروبی وجود ندارد، و این مطمئناً به همان اندازه که برای سایر رویکردهای حکمرانی صدق می‌کند، در مورد چند مرکزیت نیز صادق است. آنچه در یک محیط موفق می‌شود، ممکن است در شرایط دیگر شکست بخورد. با این حال، مطالعات تجربی نشان می‌دهد که احتمال بیشتری وجود دارد که سیستم‌های حکمرانی چندمرکزی نسبت به حکمرانی تک‌مرکزی یا متمرکز و چندپاره ظرفیت سازگاری بیشتری را نشان دهند و در نتیجه منجر به نتایج محیط زیستی و اجتماعی بهتری شوند (Pahl-Wostl & Knieper, 2014). این نتیجه همچنین در بسیاری از مطالعات اخیر تایید شده است (Tuda et al., 2021; Pahl-Wostl & Knieper, 2023; Keudel & Huss, 2024; Stephan, 2024). در حالی که وجود مراکز تصمیم‌گیری چندگانه و نیمه خودمختار ممکن است برای توصیف ساختارهای حکمرانی به‌عنوان چندمرکزی کافی باشد، این تضمین نمی‌کند که هماهنگی کافی بین مراکز تصمیم‌گیری وجود داشته باشد تا این سیستم به‌عنوان یک سیستم حکمرانی چندمرکزی عمل کند (Pahl-Wostl & Knieper, 2014; Marshall, 2015). اگر مراکز تصمیم‌گیری بتوانند روابط رقابتی و مشارکتی را حفظ کنند و تعارضات موجود را حل کنند، می‌توان گفت که

نتایج شاخص مرکزیت درجه نشان داد که افزایش میانگین و میانه در هر سه نمودار مرکزیت درجه ورودی، خروجی و کلی نشان‌دهنده افزایش ارتباطات و ارتقاء سطح همکاری و تأثیرگذاری سازمان‌ها است. افزایش کمینه و چارک اول در نمودار مرکزیت درجه کلی و ورودی نشان‌دهنده بهبود وضعیت سازمان‌هایی است که در گذشته کمترین دریافت اطلاعات و منابع را داشته‌اند، درحالی‌که افزایش چارک سوم نیز نشان‌دهنده تقویت بیشتر سازمان‌های فعال‌تر است؛ بنابراین تفاوت‌ها و نابرابری‌ها در دسترسی به اطلاعات و ابزارهای همکاری کاهش یافته و همه سطوح شبکه از مزایای طرح بهره‌مند شده‌اند. ثابت ماندن بیشینه و کمینه مرکزیت درجه خروجی نشان می‌دهد که با اینکه سطح کلی فعالیت‌ها افزایش یافته اما نیاز به توجه بیشتر به سازمان‌هایی که کمترین فعالیت‌ها را دارند، همچنان وجود دارد. همچنین کاهش تمرکز شبکه پس از اجرای طرح نشان‌دهنده توزیع متوازن‌تر قدرت و کاهش اختلاف‌ها در دسترسی به منابع و ابزارهای همکاری است. این تغییر می‌تواند به بهبود هماهنگی و انسجام سازمانی کمک کند و نشان‌دهنده موفقیت طرح در تقویت شبکه حکمرانی است.

نتایج حاصل از افزایش شاخص تراکم و کاهش شاخص تمرکز پس از اجرای طرح، نشان‌دهنده تقویت انسجام سازمانی و تغییر رژیم حکمرانی سرزمین از رژیم چندپاره به چندمرکزی است. Morrison (۲۰۱۷)، با تأکید بر نیاز به تجزیه و تحلیل طولی پایداری رژیم حکمرانی، چگونگی تغییر حکمرانی چندمرکزی را بررسی کردند. آن‌ها رژیم حکمرانی چندمرکزی دیواره بزرگ مرجانی، در بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۱ بررسی کردند و دریافتند که حکمرانی چندمرکزی در مقابله با تهدیدهای مربوط به محیط‌زیست ساختاریافته‌تر و مؤثرتر بود.

رژیم حکمرانی لنز خاصی را ارائه می‌دهد که از طریق آن می‌توان مؤلفه‌های ساختاری و پویایی‌های تصمیم‌گیری را که نتایج حکمرانی را شکل می‌دهند، بررسی کرد. مطالعه Ramezani و Rahimi (۲۰۲۴) که

قربانی و همکاران

آن حکمرانی چندمرکزی است (Ostrom et al., 1961; Marshall, 2015).

### نتیجه‌گیری کلی

تمرکز رژیم حکمرانی به‌طور خاص بر ترتیب‌های نهادی و چارچوب‌های قانونی حاکم بر مدیریت منابع آب و خاک است. نظام حکمرانی در مقایسه با رژیم حکمرانی دامنه وسیع‌تری را در بر می‌گیرد، نظام حکمرانی سرزمین یک چارچوب جامع شامل نهادها، بازیگران و فرآیندهای دخیل در حکمرانی سرزمین را ارائه می‌کند، درحالی‌که رژیم حکمرانی به‌طور خاص بر جنبه نهادی که ستون فقرات ساختار حکمرانی سرزمین است متمرکز است.

این پژوهش نشان داد که اجرای طرح آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی تأثیرات مثبتی بر شبکه حکمرانی سرزمین و انسجام سازمانی داشته است. افزایش شاخص تراکم و کاهش شاخص تمرکز پس از اجرای طرح، بهبود تعاملات و تبادل اطلاعات و همکاری بین سازمان‌ها را به همراه داشته است. این تغییرات منجر به تقویت انسجام سازمانی و تغییر رژیم حکمرانی از یک رژیم ناهماهنگ و چندپاره به رژیم چندمرکزی شده است. توزیع متوازن‌تر قدرت و اطلاعات و بهبود کلی شبکه تبادل اطلاعات می‌تواند به توسعه پایدار و افزایش کارایی نظام حکمرانی منجر

شود. همچنین، پس از اجرای طرح، دسترسی به اطلاعات و ابزارهای همکاری بیشتر متوازن شده و همه سطوح شبکه از مزایای طرح بهره‌مند شده‌اند.

به‌صورت کلی پس از اجرای طرح، سازمان‌ها به ارتباطات همکاری و تبادل اطلاعات بین گروهی بیشتری پرداختند. این افزایش همکاری‌ها و تعاملات می‌تواند به بهبود مدیریت منابع طبیعی و توسعه پایدار منجر شود. این مطالعه همچنین نشان داد که سازمان‌های واسطه‌ای با وجود نقش مهمی که در تسهیل همکاری بین سایر زیرگروه‌ها دارند نیاز به تقویت همکاری داخلی و بین سازمانی برای این زیرگروه همچنان وجود دارد.

افزایش همکاری و توزیع متوازن‌تر قدرت منجر به بهبود کلی در انسجام سازمانی و وضعیت حکمرانی شده است و نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مدرکی برای بررسی اثربخشی طرح‌های مشابه در آینده استفاده شود. از طرفی این پژوهش تأکید می‌کند که هیچ راه‌حل قطعی و یکسانی برای همه نظام‌های حکمرانی وجود ندارد و این سیستم‌ها بایستی با توجه به شرایط محیطی و اجتماعی خاص خود طراحی و تنظیم شوند. پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده به بررسی دقیق‌تر نحوه تعامل و همکاری بین سازمان‌ها و تأثیرات طولانی مدت این طرح‌ها بپردازد.

### Reference

- Ahmadi, A., Kerachian, R., Rahimi, R., & Skardi, M. J. E. (2019). Comparing and combining Social Network Analysis and Stakeholder Analysis for natural resource governance. *Environmental Development*, 32, 100451. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.07.001>
- Amiri, H., Rezaei, A. R., Hosseini, S., & Hejazi, Y. (2022). Identifying and analyzing the actors of Iran Agricultural Food Safety Innovation Network: Application of social network analysis approach. *Iranian Journal of Agricultural Economics & Development Research (IJAEDR)*, 53(3). (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2021.322846.669038>
- Bauer, M. W., & Knill, C. (2014). A conceptual framework for the comparative analysis of policy change: Measurement, explanation and strategies of policy dismantling. *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 16(1), 28-44. <https://doi.org/10.1080/13876988.2014.885186>
- Bodin, Ö., Crona, B., & Ernstson, H. (2006). Social networks in natural resource management: what is there to learn from a structural perspective? *Ecology and society*, 11(2), 1-8.
- Bodin, Ö., & Crona, B. I. (2009). The role of social networks in natural resource

- governance: What relational patterns make a difference? *Global Environmental Change*, 19(3), 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.05.002>
- Bodin, Ö., & Prell, C. (2011). *Social networks and natural resource management: uncovering the social fabric of environmental governance*. Cambridge University Press, p. 374.
- Borras, S. M., Franco, J. C., & Suárez, S. M. (2018). Land and food sovereignty. In *Food Sovereignty* (pp. 170-187). Routledge.
- Brisbois, M. C. (2020). Decentralised energy, decentralised accountability? Lessons on how to govern decentralised electricity transitions from multi-level natural resource governance. *Global Transitions*, 2, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.01.001>
- Carlisle, K., & Gruby, R. L. (2019). Polycentric systems of governance: A theoretical model for the commons. *Policy Studies Journal*, 47(4), 927-952. <https://doi.org/10.1111/psj.12212>
- da Cruz, N. F., & Rode, P. (2024). Social structures of urban governance: strategic spatial planning in Addis Ababa. *Territory, Politics, Governance*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/21622671.2024.2317939>
- Epstein, G., Morrison, T. H., Lien, A., Gurney, G. G., Cole, D. H., Delaroché, M., Tomas, S. V., Ban, N., & Cox, M. (2020). Advances in understanding the evolution of institutions in complex social-ecological systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 44, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.06.002>
- Garakani S A, Mahdioun J, Hazrati M. (2023) Analysis of Effective Drivers on the Implementation of Rural Development Plan and Progress of Rural System Using DPSIR Model; A Case Study: Rural Constellation of Central and Dotapeh Districts in Khodabandeh County. *Housing and Rural Environment*, 42 (183), 75-90 (In Persian).
- Ghorbani, M., Azadi, H., Janečková, K., Sklenička, P., & Witlox, F. (2021). Sustainable Co-Management of arid regions in southeastern Iran: Social network analysis approach. *Journal of Arid Environments*, 192, 104540. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104540>
- Ghorbani, M., Bouzarjomehri, K., Evazpour, L., & Mansouri, Z. (2017). The efficacy of community-based management approach toward strengthening bridging social capital and reducing social exclusion (Case Study: Rigan County, Kerman Province). *Journal of Research and Rural Planning*, 6(2), 157-169. (In Persian)
- Kegler, M. C., Rigler, J., & Ravani, M. K. (2010). Using network analysis to assess the evolution of organizational collaboration in response to a major environmental health threat. *Health education research*, 25(3), 413-424. <https://doi.org/10.1093/her/cyq022>
- Klůváňková, T., & Gežík, V. (2016). Survival of commons? Institutions for robust forest social-ecological systems. *Journal of Forest Economics*, 24, 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2016.01.002>
- Keudel, O., & Huss, O. (2024). Polycentric governance in practice: the case of Ukraine's decentralised crisis response during the Russo-Ukrainian war. *Journal of Public Finance and Public Choice*, 39(1), 10-35. <https://doi.org/10.1332/25156918Y2023D000000002>
- Li, T. M. (2014). What is land? Assembling a resource for global investment. *Transactions of the institute of British Geographers*, 39(4), 589-602. <https://doi.org/10.1111/tran.12065>
- Maas, A. (2011). *Water, governance and sustainability: A Case study of water allocation in Whiteman's Creek, Ontario University of Waterloo*, p. 149.
- Marshall, G. R. (2009). Polycentricity, reciprocity, and farmer adoption of conservation practices under community-based governance. *Ecological economics*, 68(5), 1507-1520. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.10.008>
- Marshall, G. R. (2015). *Polycentricity and adaptive governance*. Working Paper presented at the 15th Biannual International Conference of the International Association for the Study of the Commons, Edmonton, Canada.
- McGinnis, M. D. (1999). *Polycentricity and local public economies: Readings from the*

- workshop in political theory and policy analysis. University of Michigan Press, p. 385.
- McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and society*, 19(2). <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- Morrison, T. H. (2017). Evolving polycentric governance of the Great Barrier Reef. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(15), 3013-3021. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620830114>
- Narayanan, N., & Venot, J. P. (2009). Drivers of change in fragile environments: Challenges to governance in Indian wetlands. *Natural Resources Forum*, 33(4), 320-333. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01255.x>
- Natural Disasters Research Institute, (2023). *Rural Development and the Advancement of Rural Constellation Plan*. [Online] Available at: <https://ndri.ac.ir/rural-development-07> (In Persian).
- Omondigbe, H. A., Towns, D. R., Wood, J. K., & Bollard-Breen, B. (2017). Stakeholders and social networks identify potential roles of communities in sustainable management of invasive species. *Biological Invasions*, 19, 3037-3049. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1506-1>
- Ostrom, E. (2009). *Understanding institutional diversity*. Princeton university press.
- Ostrom, V., Tiebout, C. M., & Warren, R. (1961). The organization of government in metropolitan areas: a theoretical inquiry. *American political science review*, 55(4), 831-842.
- Pahl-Wostl, C. (2015). *Water governance in the face of global change*. Springer, p. 287.
- Pahl-Wostl, C., & Knieper, C. (2014). The capacity of water governance to deal with the climate change adaptation challenge: Using fuzzy set Qualitative Comparative Analysis to distinguish between polycentric, fragmented and centralized regimes. *Global Environmental Change*, 29, 139-154. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.09.003>
- Pahl-Wostl, C., Lebel, L., Knieper, C., & Nikitina, E. (2012). From applying panaceas to mastering complexity: toward adaptive water governance in river basins. *Environmental Science & Policy*, 23, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.014>
- Pahl-Wostl, C., & Knieper, C. (2023). Pathways towards improved water governance: The role of polycentric governance systems and vertical and horizontal coordination. *Environmental Science & Policy*, 144, 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.03.011>
- Rahimi, M., Ghorbani, M., & Azadi, H. (2023). Structural characteristics of governmental and non-governmental institutions network: case of water governance system in Kor River basin in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 25(7), 7029-7045. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02346-y> (In Persian)
- Ramezani, S., and. Rahimi, M. (2024). Air Pollution Governance System: Application of Organizational Network Analysis of Clean Air Law Enforcement. *Journal of Natural Resources Governance*, 1(1), 39-50. (In Persian)
- Salomon, A. K., Quinlan, A. E., Pang, G. H., Okamoto, D. K., & Vazquez-Vera, L. (2019). Measuring social-ecological resilience reveals opportunities for transforming environmental governance. *Ecology and Society*, 24(3). <https://doi.org/10.5751/ES-11044-240316>
- Sandström, A., & Rova, C. (2009). The network structure of adaptive governance-A single case study of a fish management area. *International journal of the commons*, 4(1), 528-551. <https://doi.org/10.18352/ijc.156>
- Scott, M. (2015). Re-theorizing social network analysis and environmental governance: Insights from human geography. *Progress in Human Geography*, 39(4), 449-463. <https://doi.org/10.1177/0309132514554322>
- Sixt, G. N., Klerkx, L., Aiken, J. D., & Griffin, T. S. (2019). Nebraska's Natural Resource District system: Collaborative approaches to adaptive groundwater quality governance. *Water Alternatives*, 12(2), 676-698
- Sommerville, P., Former, R., Bunger, A., & Hempflin, C. (2015). *Organizational network analysis: Nicaragua workforce development system*. In: Washington, DC: LINC Local LLC.

- Stephan, M. (2024). *Polycentricity*. *Elgar Encyclopedia of Climate Policy*, Edward Elgar Publishing, pp. 60-63. <https://doi.org/10.4337/9781802209204.ch11>
- Tolera, T., & Senbeta, F. (2023). A Social Network Analysis of Collaborative Rangelands Governance: The case of Borana Rangelands, Southern Ethiopia. *Human Ecology*, 51(3), 429-437. <https://doi.org/10.1007/s10745-023-00418-9>
- Tuda, A. O., Kark, S., & Newton, A. (2021). Polycentricity and adaptive governance of transboundary marine socio-ecological systems. *Ocean & Coastal Management*, 200, 105412. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105412>
- Wittman, H., Dennis, J., & Pritchard, H. (2017). Beyond the market? New agrarianism and cooperative farmland access in North America. *Journal of Rural Studies*, 53, 303-316. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.03.007>
- Zheng, X., Sun, C., & Liu, J. (2024). Exploring stakeholder engagement in urban village renovation projects through a mixed-method approach to social network analysis: a case study of Tianjin. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.05.002>

## Predicting the effect of biological measures on flood generation in the Behesht Abad watershed using machine learning methods

Fariba Darabi<sup>1</sup>, Ali Najafinejad<sup>1\*</sup>, Hamidreza Pourghasemi<sup>2</sup>, Amir Sadoddin<sup>1</sup>

1. Department of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

\* Corresponding author: [najafinejad@gau.ac.ir](mailto:najafinejad@gau.ac.ir)

(Received: 21 Jun 2024

Revised: 27 August 2024

Accepted: 10 September 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Flood events are among the most significant natural disasters, causing substantial damage each year in Iran. One effective approach in watersheds for mitigating the consequences of flooding is the implementation of watershed management operations. Moreover, evaluating the effects of each operation is crucial. In natural disaster management, particularly in the case of floods, timing is the most critical factor. This underscores the need for a rapid response model to facilitate precautionary actions and early warnings. Numerous studies have been conducted to measure and classify the effects of floods from various perspectives. Generally, the damages are evaluated both directly and indirectly in flood impact assessments. Advances in various fields of artificial intelligence, especially in water resources, have made these technologies viable options for modeling hydrological and hydraulic processes. Consequently, the present research employs machine learning methods to predict the impact of water management measures on floods in the Behesht Abad watershed.

**Materials and methods:** The main focus of this research is to simulate the effects of watershed operations using machine learning methods in the Behesht Abad watershed. Discharge and rainfall data from 1999 to 2020 were used. Effective factors in flood occurrence, including canopy cover, soil, and topography, were analyzed in ArcGIS using satellite imagery, GEE, and field surveys. Furthermore, the effects of watershed management actions, particularly biological operations, were simulated using Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) models. In summary, discharge flow predictions were made based on a dataset comprising 7,850 records, with 70% (5,495 records) used for model training and 30% (2,355 records) for testing. Biological measures such as mounding, sowing, seeding, and seedling were simulated to assess their impact on flow rates. By implementing these predicted biological plans in the studied watershed, changes in vegetation and land use parameters were modeled. The predicted layers were then used to update numerical values related to vegetation cover, including the NDVI index and land use, which were recalculated and integrated into the modeling process.

**Results and Discussion:** In this watershed, the SVM simulation indicated that the highest discharge flow occurred in 2003, reaching approximately 500 m<sup>3</sup>/s. According to the RF simulation, this value increased to 520 m<sup>3</sup>/s in 2016. The results demonstrate that biological operations reduce discharge flow and have the least impact on peak discharge flow. A comparison between SVM and RF revealed that SVM performed better in discharge flow prediction. Based on the results, the R<sup>2</sup> values for the training and testing phases were 0.96 and 0.89, respectively, while the NTS values for the training and testing phases were 0.95 and 0.86, respectively.

**Conclusion:** The role of biological watershed management measures in reducing surface runoff and their effect on flood variables, particularly through their influence on the watershed's concentration time and curve number, is undeniable. It is also essential to examine the impact of these measures on the watershed's hydrological processes. The results indicate that applying machine learning models is a cost- and time-effective approach for discharge flow estimation, flood management, and flood control in planning and projects. By leveraging these methods, communities and governments can enhance flood preparedness, improve management strategies, and ultimately reduce the impact of flooding events on human lives and infrastructure.

**Keywords:** Artificial intelligence, Behesht Abad basin, Flood management, Random forest (RF), Support vector machine model (SVM).

Citation: Darabi, F., Najafinejad, A., Pourghasemi, H., & Sadoddin, A. (2025). Predicting the effect of biological measures on flood generation in the Behesht Abad watershed using machine learning methods. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 79-96. doi: 10.22034/iwm.2024.2032264.1159

### 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>).



## پیش‌بینی اثر اقدامات بیولوژیک بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین

فریبا دارابی<sup>۱</sup>، علی نجفی‌نژاد<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا پورقاسمی<sup>۲</sup>، امیر سعدالدین<sup>۱</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲. گروه منابع طبیعی و مهندسی محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

\*نویسنده مسئول: [najafinejad@gau.ac.ir](mailto:najafinejad@gau.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** سیل یکی از انواع بلایای طبیعی است که هر ساله موجب ایجاد خسارات زیادی در ایران می‌شود. اجرای اقدامات آبخیزداری در سطح حوزه‌های آبخیز، یکی از راهکارهای موثر در مدیریت سیل و جلوگیری از خسارات ناشی از آن است. از طرفی بررسی میزان تأثیر این اقدامات بر فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز اجتناب‌ناپذیر است. در مدیریت مخاطرات طبیعی به‌ویژه در مدیریت سیل، زمان یکی از مهم‌ترین عوامل است، به عبارتی مدل به‌کار گرفته شده باید توانایی مدل‌سازی یا شبیه‌سازی در کوتاه‌ترین زمان ممکن را دارا باشد تا به اقدامات پیشگیرانه و هشدار اولیه کمک نماید. مطالعات زیادی به منظور اندازه‌گیری و طبقه‌بندی اثرات سیل از دیدگاه‌های مختلف انجام شده است. در همین راستا پیشرفت در زمینه‌های مختلف هوش مصنوعی مخصوصاً در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب موجب شده که به‌عنوان گزینه مناسب برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مورد توجه قرار گیرند. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی اثر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش یادگیری ماشین برنامه‌ریزی شد.

**مواد و روش‌ها:** داده‌های مورد استفاده شامل دبی و بارش در دوره‌های ۱۳۷۸-۱۳۹۹ بود. عوامل مؤثر بر سیل از جمله پوشش گیاهی، خاک و توپوگرافی نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سامانه گوگل ارث انجین و مطالعات میدانی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. همچنین تأثیر اقدامات آبخیزداری شامل عملیات بیولوژیک با مدل‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM) و جنگل تصادفی (RF) شبیه‌سازی شد. به‌طور کلی پیش‌بینی دبی جریان بر اساس مجموعه داده‌های موجود (۷۸۵۰ سری) در دو دسته داده‌های آموزش مدل (Train) شامل ۷۰ درصد داده‌ها (۵۴۹۵ سری) مربوط به دوره ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۳ و داده‌های آزمون مدل (Test) شامل ۳۰ درصد داده‌ها (۲۳۵۵ سری) در دوره ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ انجام شد. براساس مطالعات تفصیلی-اجرایی صورت گرفته، اقدامات بیولوژیک شامل کپه‌کاری، بذرپاشی و نهال‌کاری شبیه‌سازی شد و اثر اقدامات بیولوژیک بر دبی جریان، در نظر گرفته شد. بنابراین با انجام طرح‌های بیولوژیک پیش‌بینی شده در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه، پارامترهای پوشش گیاهی و کاربری اراضی، تغییر نموده و از لایه‌های پیش‌بینی شده استفاده شد، لذا مقادیر عددی مربوط به پوشش گیاهی حوضه از جمله شاخص NDVI و کاربری اراضی در پیکسل‌هایی که عملیات پیشنهاد شده بود، تغییر داده شد که مقادیر آن‌ها مجدداً محاسبه و وارد فرآیند مدل‌سازی گردید.

**نتایج و بحث:** بیش‌ترین میزان دبی شبیه‌سازی شده در حوضه با مدل‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM) و جنگل تصادفی (RF) به ترتیب حدود ۵۰۰ و ۵۲۰ مترمکعب بر ثانیه بوده که در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۵ رخ داده است. نتایج نشان داد اقدامات بیولوژیک حجم دبی جریان را کاهش داده و اثر کمتری بر مقدار دبی اوج داشته است. مقایسه نتایج دو مدل SVM و RF نشان داد که مدل SVM عملکرد بهتری نسبت به مدل RF در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه داشته است به‌نحوی که طبق نتایج به‌دست آمده از مدل SVM، مقدار ضریب تبیین در مرحله آموزش و آزمون به ترتیب برابر ۰/۸۹ و ۰/۸۶ بوده است. همچنین مقدار شاخص نش-ساتکلیف برای مرحله آموزش برابر ۰/۹۵ و برای مرحله آزمون برابر ۰/۸۶ می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** نقش اقدامات آبخیزداری به‌صورت بیولوژیک در حوزه‌های آبخیز در کاهش میزان رواناب سطحی و اثرگذاری آن بر متغیرهای سیل، از طریق تأثیر آن‌ها بر زمان تمرکز و شماره منحنی حوزه آبخیز امری غیرقابل انکار است. از طرفی بررسی میزان تأثیر این اقدامات بر فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز اجتناب‌ناپذیر است. براساس نتایج، استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین گزینه مناسبی برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه طرح‌ها و پروژه‌های پیش‌بینی جریان روخانه و جریان سیلی و کنترل و مدیریت سیل در حوزه‌های آبخیز می‌باشند. می‌توان اظهار نمود پیش‌بینی سیل با استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند در زمان و هزینه به‌صرفه باشد و با آموزش صحیح مدل و استفاده از داده‌های جامع پیش‌بینی دقیق‌تری ارائه داشت.

**واژه‌های کلیدی:** مدل جنگل تصادفی (RF)، حوضه بهشت‌آباد، مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)، مدیریت سیل، هوش مصنوعی

**استناد:** دارابی، ف.، نجفی‌نژاد، ع.، پورقاسمی، ح.؛ و سعدالدین، الف. (۱۴۰۴). پیش‌بینی اثر اقدامات بیولوژیک بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱): ۷۹-۹۶.

### 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 به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

## مقدمه

سیل یکی از خطرناک‌ترین بلایای طبیعی است که باعث تخریب اموال و به‌خطر افتادن جان انسان‌ها می‌شود (Gharakhanlou & Perez, 2023) و سالانه حدود ۶۰ میلیارد دلار خسارات اقتصادی در اقصی نقاط دنیا به‌بار می‌آورد (Convertino *et al.*, 2019). از سال ۲۰۱۱، زیان اقتصادی ناشی از حوادث سیل، ۱۸۵ میلیارد دلار تخمین زده شد. همچنین نزدیک به ۳۱ درصد از خسارات اقتصادی ناشی از حوادث طبیعی، مربوط به فاجعه سیل است (Sönmez & Bizimana, 2020). روند افزایش وقوع سیل در پنج دهه گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع آن در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ کمابیش ده برابر شده است (Abdi, 2016). به همین دلیل سیل با تأثیر بر زندگی بشر و ایجاد آسیب‌های شدید اقتصادی در سراسر جهان به‌عنوان شاخص‌ترین بلای طبیعی مشهور است. بر این اساس، پیش‌بینی سیل و کنترل آن از مهم‌ترین اقداماتی است که در دهه اخیر مدنظر محققان بوده است. به‌طوری‌که این اقدام در طراحی سازه‌های آبی از قبیل سرریزها، مجاری فاضلاب‌های شهری، طرح‌های کنترل و سازه‌های آبخیزداری در حوضه‌ها اهمیت زیادی دارد (Silveira *et al.*, 2000). فرآیند وقوع سیل بسیار پیچیده بوده و عوامل مختلفی در رخداد آن نقش دارند؛ از این‌رو، پیش‌بینی وقوع آن نیز مشکل است. به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی مانند سیل، استفاده از روش‌های یادگیری ماشین مثل ماشین بردار پشتیبان (SVM)، مدل درخت تصمیم-گیری (M5)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، برنامه‌ریزی ژنتیک و منطق فازی به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (Sattari *et al.*, 2016). از طرفی با توجه به غیرخطی بودن فرآیند بارش-رواناب و همچنین وابستگی این فرآیند به ویژگی‌های فیزیوگرافیک و هیدرولوژیک حوزه آبخیز، استفاده از

مدل‌هایی که قابلیت برقراری نداشت غیرخطی بین بارش و رواناب داشته باشند، باید مدنظر قرار گیرد؛ بنابراین استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی راهکار مفید و مؤثری به‌شمار می‌رود (Hasani *et al.*, 2021). بر همین اساس مطالعات مختلفی در سراسر جهان صورت گرفته است.

Puttinaovarat و Horkaew (۲۰۲۰) به بررسی پیش‌بینی سیل با استفاده از مجموعه داده‌های ثبت شده بر اساس الگوریتم‌های یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی (RF)، پرسپترون چندلایه (MLP)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و هسته تابع پایه شعاعی (RBF) پرداختند. نتایج ارزیابی در مناطق مورد مطالعه نشان داد بهترین عملکرد به‌ترتیب الگوریتم‌های ANN، MLP، SVM و RF بودند. Zehra (۲۰۲۰) به ارزیابی الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی سیل پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که روش الگوی خود برآزش برونزای غیرخطی (NARX)<sup>۱</sup> می‌تواند نتایج دقیق و بهتری برای پیش‌بینی سیل ارائه دهد. Bagherian Kalat و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر فرسایش و رسوب حوزه آبخیز کاخک در استان خراسان رضوی پرداختند که نتایج نشان داد مقدار رسوب به میزان ۵۰ درصد در اثر اقدامات آبخیزداری کاهش پیدا کرد. Lawal و همکاران (۲۰۲۱) به پیش‌بینی سیل با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین در ایالت Kebbi کشور نیجریه پرداختند. ایشان از سه الگوریتم درخت تصمیم، رگرسیون لجستیک و رگرسیون با ماشین بردار (SVR) استفاده کردند. نتایج نشان داد که رگرسیون لجستیک، در مقایسه با دو الگوریتم دیگر، نتایج دقیق‌تری دارد و دقت عملکرد بالایی را ارائه می‌دهد. de Oliveira Serrão و همکاران (۲۰۲۲) نیز با شبیه‌سازی تأثیر پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی بر میزان رسوب حوزه آبخیز آمازون در

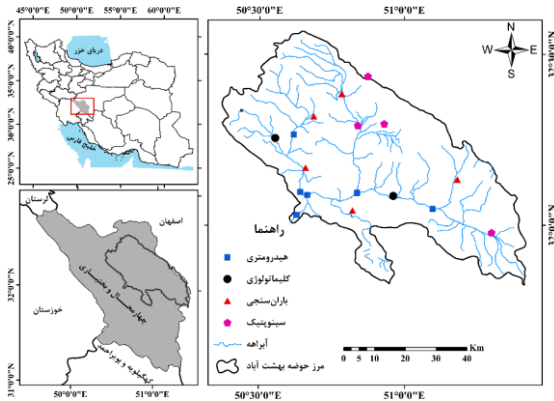
پژوهشی به اثربخشی اقدامات آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب پرداختند که نتایج ایشان نشان داد بر اثر اجرای اقدامات آبخیزداری، میزان رسوب آبخیز به میزان ۲۱ درصد کاهش یافت. Mostafaei و همکاران (۲۰۲۳) اقدام به ارزیابی عملکرد مدل‌های یادگیری عمیق، شبکه عصبی چندجمله‌ای و مدل HEC-HMS در پیش‌بینی جریان رودخانه در حوزه‌های آبخیز بار اربه، کسلیان و لتیان کردند. نتایج نشان دهنده عملکرد متوسط مدل MLP با متوسط NRMSE معادل ۵۱/۱۷ درصد، عملکرد مناسب مدل GMDH با متوسط NRMSE معادل ۴۴/۶ درصد و عملکرد بسیار خوب مدل LSTM با متوسط NRMSE معادل ۲۶/۸ درصد می‌باشد.

طبق بررسی‌های صورت گرفته در مناطق مختلف جهان با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلف به ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری و همچنین توانایی مدل‌های مختلف در ارزیابی اثر این اقدامات پرداخته شده است و نتایج نشان داد شناسایی مناطق سیل‌خیز به برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب کمک کرده و در نتیجه می‌تواند به کاهش خطرات و تلفات کمک نماید (Dawson et al., 2006).

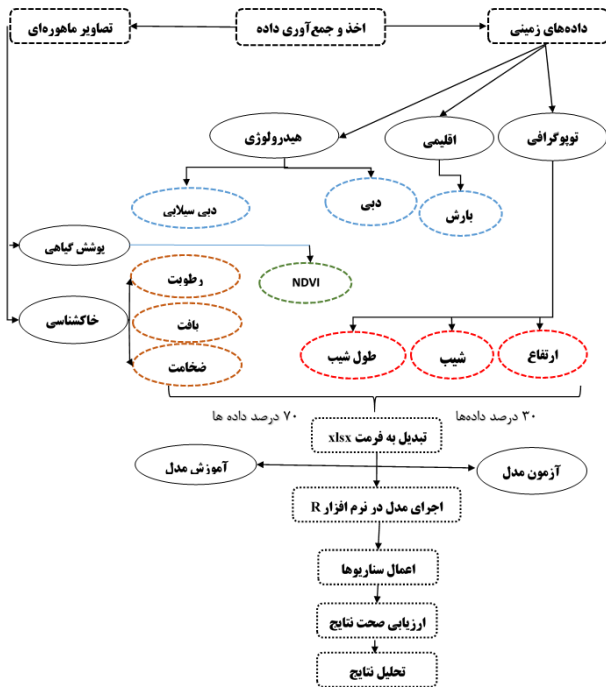
همچنین پیش‌بینی احتمال وقوع سیل به مدیران در جهت کاهش خسارات سیل کمک کرده و فرصتی فراهم می‌نماید تا توزیع آب را مدیریت و آسیب‌های احتمالی ناشی از آن را کاهش دهند (Saedi et al., 2020). بر این اساس تعیین و تبیین استراتژی‌های مدیریت سیل یک امر اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد و مهار نسبی خطرات سیل، یکی از چالش‌های عمده مدیریت کشور است (Panahi et al., 2023).

طبق نتایج حاصل از بررسی پژوهش‌های صورت گرفته، مدل ماشین بردار پشتیبان یکی از مدل‌هایی نظارت شده یادگیری است که جهت طبقه‌بندی تفکیک گروه‌ها به کار می‌رود و به لحاظ به کارگیری الگوریتم‌های تخمین توزیع، تکرار بالای فرایند مدل‌سازی و طبیعت داده‌محور، توانایی بالایی در

برزیل بیان داشتند که رابطه معکوسی بین افزایش پوشش گیاهی با رسوب حوزه آبخیز وجود دارد. Jiang و همکاران (۲۰۲۲) به منظور پیش‌بینی سیل حوزه آبخیز Yangtze از داده‌های اقلیمی مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل جنگل تصادفی و ادراک چندگانه عملکرد خوبی در پیش‌بینی سیل دارند. Saedi و همکاران (۲۰۲۰) اقدام به ارزیابی عملکرد هفت مدل عددی پیش‌بینی گروهی بارش به پیش‌بینی سیل سال ۱۳۹۸ در زیرحوضه سالیان از حوزه آبریز گرگان‌رود، پرداختند. نتایج نشان داد مدل‌های NCEP و CMA نسبت به سایر مدل‌ها، دقت کمتری در پیش‌بینی سیل داشتند. Eslahi و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تخمین حداکثر بارش محتمل (PMP) سیل را در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه پیش‌بینی کردند. خروجی نقشه‌های پهنه‌بندی روش‌های آماری همدیدی بیانگر این بود که جنوب و جنوب‌غرب حوضه دارای بیش‌ترین و شرق حوضه دریاچه دارای کم‌ترین مقدار حداکثر بارش محتمل است. Ahmadi و Rahimi (۲۰۲۲) به منظور پیش‌بینی سیل در منطقه کن-سولقان در استان تهران از مدل مبتنی بر یادگیری عمیق و آزمون من-کندال استفاده کردند. نتایج نشان داد میزان اختلاف پیش‌بینی سیل منطقه به تفکیک ماهیانه برای شبکه عصبی کانولوشن (CNN) برابر با ۰/۰۶۵۴ و برای روش من-کندال ۰/۱۹۵۳۲ به دست آمد که بیانگر دقت بالای روش CNN در تخمین میزان سیل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. Fallah و همکاران (۲۰۲۲) از الگوریتم‌های یادگیری ماشین از جمله رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)، شبکه عصبی مصنوعی با پس انتشار خطا (ANN-BP) و رگرسیون تقویت گرادیان (GBR) و داده‌های هواشناسی و پوشش برف سنجنده MODIS جریان سطحی روزانه را در دو حوضه مختلف لتیان و ناورود پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد مدل GBR دارای بالاترین و مدل SVR کم‌ترین کارایی را داشتند. Koohdarzi Moghaddam و همکاران (۲۰۲۲) در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه  
Figure 1- Geographical location of the study area



شکل ۲- نمودار جریان پژوهش حاضر  
Figure 2- The flowchart of the current research

### داده‌های پژوهش

#### هواشناسی و هیدرولوژی

در پژوهش حاضر داده‌های ایستگاه باران‌سنجی، سینوپتیک و هیدرومتری موجود در حوضه از شرکت آب منطقه‌ای، اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان هواشناسی کل کشور و شرکت مدیریت منابع آب با مقیاس روزانه اخذ شد. داده‌های جمع‌آوری شده ابتدا مورد بازبینی قرار گرفت و تجزیه

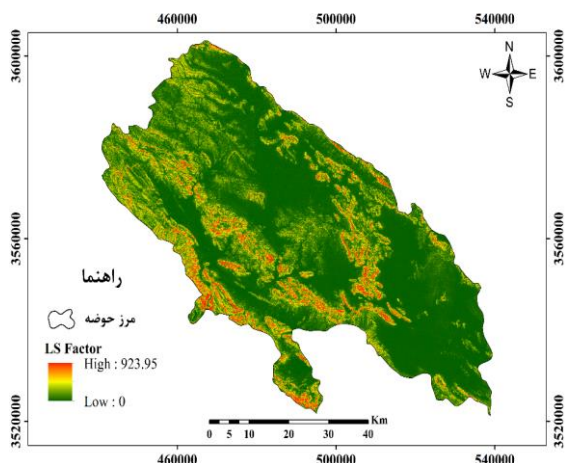
شناسایی رفتار وقوع خطر سیل داشته و در پژوهش‌های متعددی برتری نسبی خود را نسبت به مدل‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره اثبات نموده است.

بررسی مطالعات نشان داد تاکنون در حوزه آبخیز مورد مطالعه هیچگونه مطالعه‌ای در راستای پژوهش حاضر صورت نگرفته است و با توجه به موقعیت قرارگیری و شرایط خاص توپوگرافی منطقه، انجام مطالعات در خصوص سیل و شناسایی مدل‌هایی که در محدوده از توانایی بالایی در شبیه‌سازی برخوردار باشند، اجتناب‌ناپذیر است. پیشرفت در زمینه‌های مختلف هوش مصنوعی مخصوصاً در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب موجب شده که به‌عنوان گزینه مناسب برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مورد توجه قرار گیرند که بر همین اساس پژوهش حاضر نیز با هدف پیش‌بینی اثر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش یادگیری ماشین برنامه‌ریزی شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بهشت‌آباد در منتهی‌الیه شمال شرق استان چهارمحال و بختیاری یکی از زیرحوزه‌های هشت‌گانه حوزه آبخیز بزرگ کارون شمالی می‌باشد که بین طول‌های  $51^{\circ} 24' 42''$  تا  $50^{\circ} 22' 21''$  شرقی و عرض‌های  $31^{\circ} 49' 50''$  تا  $32^{\circ} 34' 05''$  شمالی قرار دارد. این حوزه آبخیز دارای مساحت ۳۸۶۶ کیلومترمربع، محیط ۳۸۹ کیلومتر، طول آبراهه ۱۲۰ کیلومتر، شیب متوسط ۳/۱۱ درصد و ارتفاع متوسط ۲۳۱۷ متر است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی و شکل (۲) نمودار جریانی پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (الف)، شیب (ب)

و طول شیب (ج) منطقه مورد مطالعه

Figure 3- The maps of DEM (a), slope (b) and slope length (c) of the studied area

بر اساس شکل (۳) بیش‌ترین ارتفاع ۳۷۲۳ متر و کم‌ترین مقدار ۱۶۵۱ متر می‌باشد. نقشه شیب نیز بیان‌گر تغییرات شدید میزان شیب در حوضه می‌باشد که از مناطق با شیب صفر شروع شده و در مناطق صخره‌ای به شیب‌های خیلی زیاد می‌رسد. بیش‌ترین مساحت طبقه شیب مربوط به شیب‌های صفر تا ۵ درجه و کم‌ترین آن شیب‌های بالای ۳۵ درجه می‌باشد.

#### کاربری اراضی و پوشش گیاهی

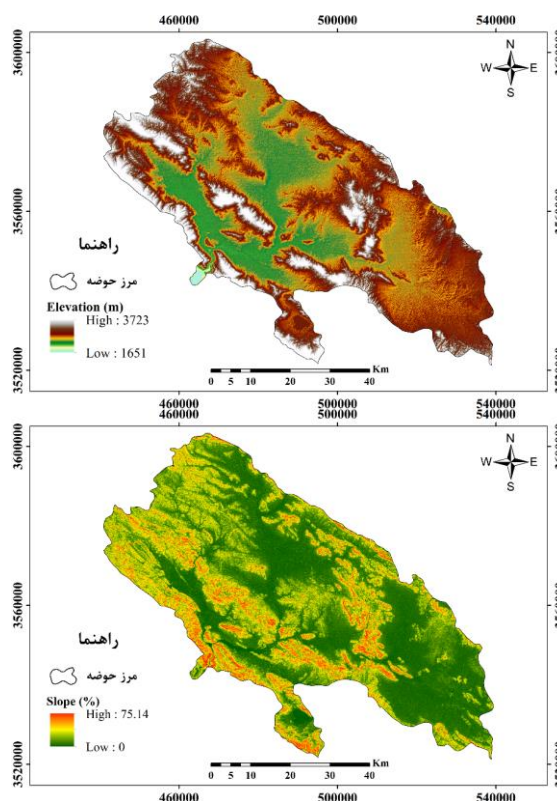
در پژوهش حاضر نقشه کاربری اراضی برای دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ (سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۰) برای هر سال بر اساس داده‌های ماهواره سری لندست ۵، ۷ و ۸ با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال ( $MLC^2$ ) در محیط گوگل ارث انجین<sup>۳</sup> (GEE) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به‌دست آمد.

تصاویر ماهواره لندست ۷ دارای خطای راه راه شدگی با استفاده از تابع Focal Mean و به کمک تکنیک Gap fill اصلاح و برطرف گردید. جهت ارزیابی نقشه‌های کاربری تولید شده از ضریب کاپا استفاده شد (جدول ۱).

و تحلیل اولیه شامل رفع نواقص آماری، آزمون نرمال بودن و تست همگنی انجام شد. با انتخاب بازه زمانی مشترک بین ایستگاه‌ها، دوره زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۹ به‌عنوان دوره مورد ارزیابی انتخاب شد. به همین منظور از ۲ ایستگاه کلیماتولوژی، ۳ ایستگاه سینوپتیک، ۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۶ ایستگاه هیدرومتری استفاده شد.

#### توپوگرافی

ویژگی‌های توپوگرافی زمین، عامل مؤثر بر وقوع سیل در حوزه آبخیز می‌باشند. در این مطالعه برای تهیه لایه‌های توپوگرافی شامل طبقات ارتفاعی، درصد شیب، طول شیب (LS) از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شد. نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) نیز از ماهواره SRTM با توان تفکیک مکانی ۳۰ متری تهیه شد. شکل (۳) نقشه ویژگی‌های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



جدول ۱- مقادیر ضریب کاپا حاصل از ارزیابی نقشه‌های کاربری اراضی

Table 1- Kappa coefficient values obtained from the land use maps evaluation

سال	ضریب کاپا
Year	Kappa coefficient
1999	0.81
2004	0.79
2006	0.83
2009	0.84
2013	0.76
2016	0.83
2020	0.88

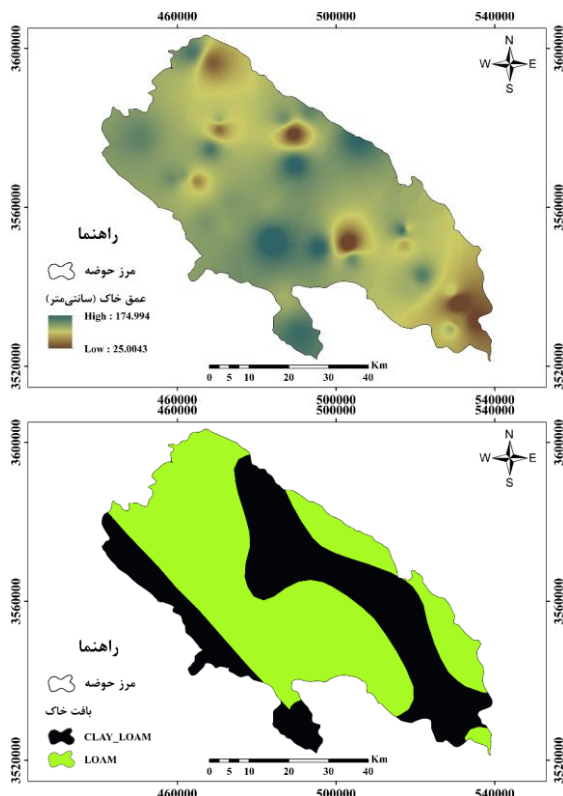
برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) از تصاویر ماهواره سری لندست ۵، ۷ و ۸ بر مبنای رابطه ۱ استفاده شد.

$$NDVI = \frac{Band\ NIR - Band\ Red}{Band\ NIR + Band\ Red} \quad (1)$$

که در آن، NDVI: شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی است، NIR: میزان انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک و Red: میزان انعکاس در باند قرمز است.

#### خاک‌شناسی

در پژوهش حاضر به منظور تهیه نقشه میزان رطوبت خاک از تصاویر ماهواره ERA5-Land در دوره مورد بررسی در محیط گوگل ارث انجین با دقت ۳۰ متری استفاده شد. همچنین داده‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان دریافت شد و به منظور تهیه نقشه بافت خاک در نقاط مشخص شده پروفیل خاک حفر و تا عمق ۳۰ سانتی‌متر از خاک منطقه نمونه برداری شد و پس از انتقال به آزمایشگاه خاک با استفاده از مثلث بافت خاک نوع بافت مشخص گردید. شکل (۴) نقشه عمق و بافت خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه عمق خاک (الف) و بافت خاک (ب) حوضه مورد مطالعه

Figure 4- Map of soil depth (a) and soil texture (b) of the study area

#### اجرای سناریوی اقدامات بیولوژیک

بعد از تهیه عوامل موثر در وقوع سیل در بازه زمانی مورد بررسی، لایه‌ها بر اساس تعداد کل پیکسل‌هایی که سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه را پوشش می‌دهند، در محیط ArcGIS به فایل نقطه‌ای تبدیل شدند. سپس ارزش عددی در سطح پیکسل‌ها به صورت داده نقطه‌ای به دست آمد. با توجه به همسان‌سازی اندازه پیکسل‌های همه پارامترها، کلیه مقادیر عددی پارامترها دارای سری زمانی یکسان می‌باشند که در نهایت در قالب فایل Excel برای مدل‌سازی آماده‌سازی شد. در مرحله بعد با فراخوانی داده‌ها در محیط برنامه‌نویسی R پایگاه داده برای شبیه‌سازی آماده شد. با توجه به این‌که مقادیر عددی پارامترهای موردنظر در محدوده‌های متفاوت می‌باشد برای یکسان‌سازی اثرات در مدل‌سازی از استانداردسازی داده‌ها بهره گرفته شد. سناریوهای اقدامات آبخیزداری

### شبیه‌سازی سیل با مدل جنگل تصادفی

جنگل تصادفی<sup>۶</sup> نوعی الگوریتم یادگیری گروهی<sup>۷</sup> است که چندین درخت تصمیم را برای پیش‌بینی ترکیب می‌کند. هر درخت تصمیم در جنگل تصادفی بر روی یک زیر مجموعه تصادفی از داده‌های آموزشی و یک زیر مجموعه تصادفی از فیچرها آموزش داده می‌شود. سپس خروجی جنگل تصادفی با تجمیع پیش‌بینی‌های همه درخت‌های تصمیم تعیین می‌شود. این رویکرد به جنگل تصادفی اجازه می‌دهد تا بسیار دقیق و مقاوم در برابر مشکل بیش‌برازش، یک مشکل رایج در یادگیری ماشین که در آن مدل در داده‌های آموزشی خوب عمل می‌کند اما در داده‌های جدید ضعیف است، باشد. پیش‌بینی سیل با استفاده از مدل جنگل تصادفی (RF) نیز بر اساس مجموعه داده‌های موجود (۷۸۵۰ سری) در دو دسته داده‌های آموزش مدل (Train) شامل ۷۰ درصد داده‌ها (۵۴۹۵ سری) مربوط به دوره ۱۳۷۸/۰۷/۰۱ تا ۱۳۹۳/۰۷/۱۸ (دوره اول) و داده‌های آزمون مدل (Test) شامل ۳۰ درصد داده‌ها (۲۳۵۵ سری) در دوره ۱۳۹۳/۰۷/۱۹ تا ۱۳۹۹/۱۲/۳۰ (دوره دوم) انجام شد.

### ارزیابی مدل‌های یادگیری ماشین

ارزیابی عملکرد مدل برای جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با استفاده از مقایسه‌های آماری انجام شد. برای مقایسه آماری بین جریان مشاهده‌شده (OBS) و جریان شبیه‌سازی شده (SIM) در مقیاس زمانی روزانه، از ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) بر اساس رابطه‌های ۲ الی ۵ استفاده شد:

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (SIM_i - \overline{SIM})(OBS_i - \overline{OBS})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (SIM_i - \overline{SIM})^2 \sum_{i=1}^n (OBS_i - \overline{OBS})^2}} \right]^2 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{n}} \quad (3)$$

انجام شده به صورت اقدامات بیولوژیک مدنظر قرار گرفت. براساس مطالعات تفصیلی اجرایی صورت گرفته، اقدامات بیولوژیک شامل کپه‌کاری، بذکاری، بذرپاشی و نهال‌کاری شبیه‌سازی شد و اثر اقدامات بیولوژیک بر دبی جریان، در نظر گرفته شد. لذا با انجام طرح‌های بیولوژیک پیش‌بینی شده در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه، پارامترهای پوشش گیاهی و کاربری اراضی، تغییر نموده و از لایه‌های پیش‌بینی شده استفاده شد؛ بنابراین مقادیر عددی مربوط به پوشش گیاهی حوضه از جمله شاخص NDVI و کاربری اراضی در پیکسل‌هایی که عملیات پیشنهاد شده بود، تغییر کرد که مقادیر آن‌ها مجدداً محاسبه و وارد فرآیند مدل‌سازی شد.

### شبیه‌سازی سیل با مدل ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان<sup>۴</sup> که به اختصار به آن SVM گفته می‌شود یک الگوریتم یادگیری ماشین با ناظر است که نمونه داده‌هایی را به صورت یکسری نقاطی در فضا نشان داده شده است، با استفاده از یک خط یا هایپرپلین<sup>۵</sup>، از هم جدا می‌کند. این جداسازی به‌گونه‌ای است که نقاط داده‌ای که در یک طرف خط هستند مشابه‌به‌هم و در یک گروه قرار می‌گیرند. نمونه داده‌های جدید هم بعد از اضافه‌شدن به همان فضا در یکی از دسته‌های موجود قرار خواهند گرفت. به منظور پیش‌بینی سیل عوامل مؤثر به صورت مقادیر عددی و با فرمت xlsx وارد نرم‌افزار R شدند و شبیه‌سازی دبی جریان با استفاده از مجموعه داده‌ها انجام شد. داده‌های موجود شامل ۷۸۵۰ سری هستند که به دو دسته داده‌های آموزش مدل (Train) که حاوی ۷۰ درصد سری داده‌ها (۵۴۹۵ سری) مربوط به دوره ۱۳۷۸/۰۷/۰۱ تا ۱۳۹۳/۰۷/۱۸ و داده‌های آزمون مدل (Test) که حاوی ۳۰ درصد سری داده‌ها (۲۳۵۵ سری) در بازه زمانی ۱۳۹۳/۰۷/۱۹ تا ۱۳۹۹/۱۲/۳۰ طبقه‌بندی شدند.

6- Random Forest

7- Ensemble Learning Algorithm

4- Support Vector Machine (SVM)

5- Hyperplane

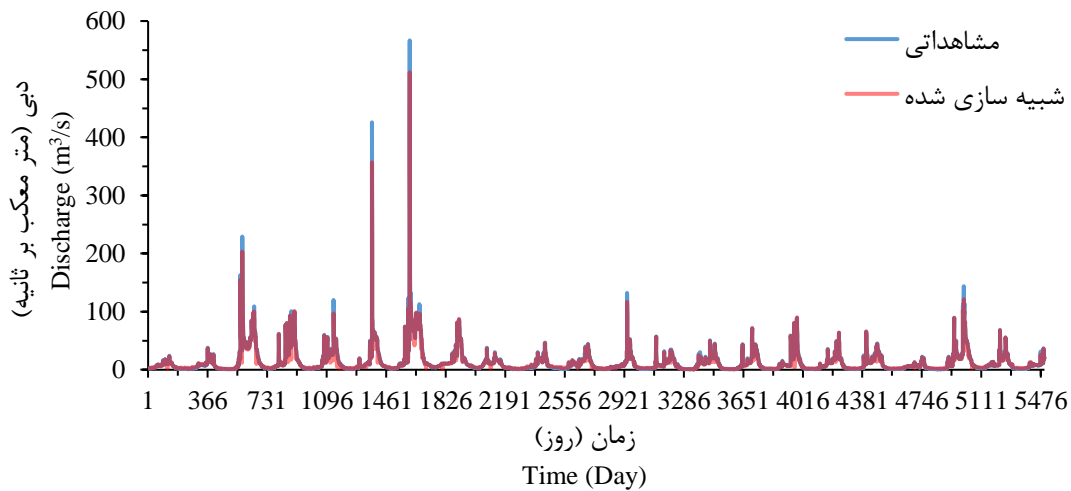
### نتایج

یکی از مهم‌ترین مسائل هیدرولوژی حوزه آبخیز، مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب می‌باشد. به‌منظور شبیه‌سازی دبی جریان سیلی از داده‌های بارندگی طبق شرح ارائه شده در بخش قبلی استفاده شد. شکل‌های ۵ تا ۸ نتایج دبی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. بر این اساس نتایج شکل‌های ۵ تا ۸ نشان می‌دهند که عملکرد مدل‌های SVM و RF، حاکی از اختلاف اندک بین میزان مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. همچنین مدل RF در مقایسه با مدل SVM تعداد کم‌برآوردی بیشتری نسبت به مدل SVM دارد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (SIM_i - OBS_i)^2}{\sum_{i=1}^n (OBS_i - \overline{OBS})^2} \quad (4)$$

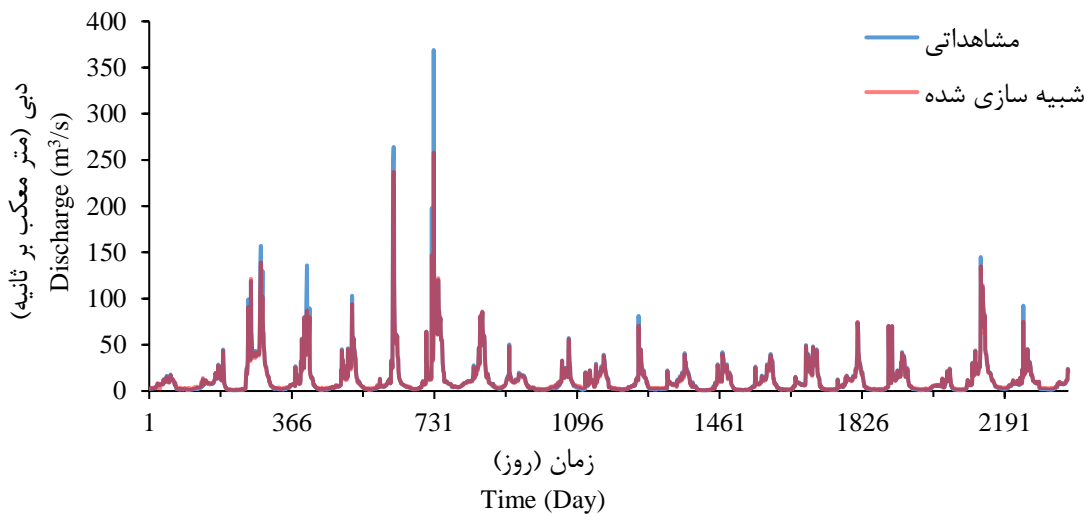
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |OBS_i - SIM_i|}{n} \quad (5)$$

که در آن‌ها: n تعداد کل جفت داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است و  $\overline{OBS}$  و  $\overline{SIM}$  نشان‌دهنده مقدار متوسط داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده می‌باشند. مقدار خطا عدم توافق بین میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده را اندازه‌گیری می‌کند. NSE از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و مقادیر بالاتر نشان دهنده توافق بهتر است (Legates & McCabe Jr, 1999) و  $R^2$  میزان احتمال همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را اندازه‌گیری می‌کند.



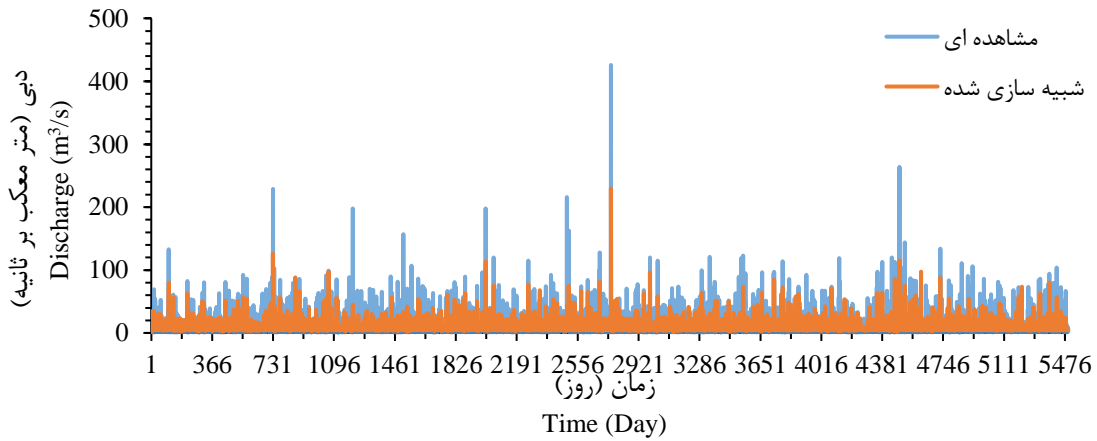
شکل ۵- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آموزش مدل SVM

Figure 5- Simulated discharge of the training step of the SVM model



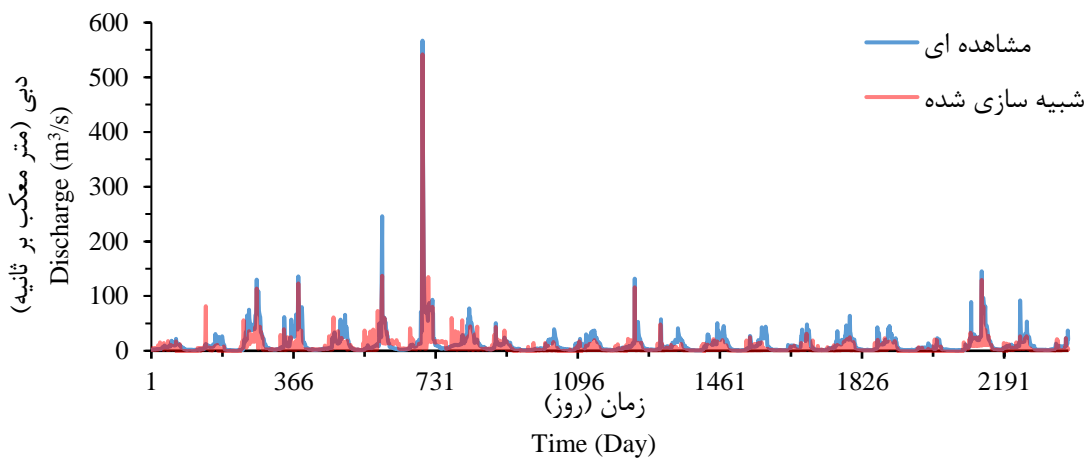
شکل ۶- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آزمون مدل SVM

Figure 6- Simulated discharge of the test step of the SVM model



شکل ۷- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آموزش مدل RF

Figure 7- Simulated discharge of the terrain step of the RF model



شکل ۸- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آزمون مدل RF

Figure 8- Simulated discharge of the test step of the RF model

فرض می‌شود. ارزیابی مدل از شبیه‌سازی دبی جریان با استفاده از مدل RF نشان‌دهنده دقت کم این مدل نسبت به مدل SVM بود.

جدول ۲- نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها در شبیه‌سازی دبی جریان در مرحله آموزش و آزمون (بدون اقدامات بیولوژیک)

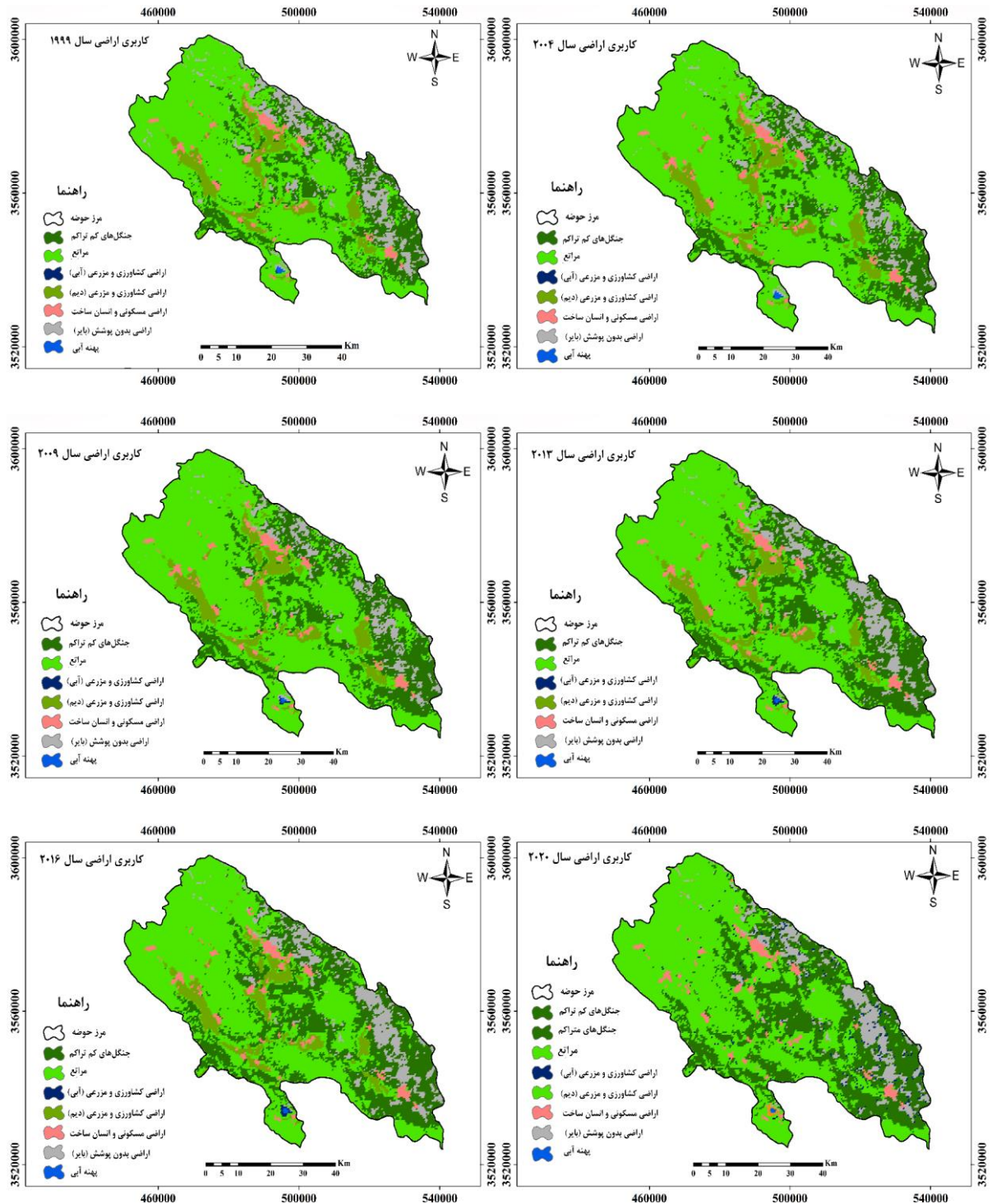
Table 2- Performance evaluation results of the models in simulating flow rate during the training and test steps (without biological measures)

مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)		مدل جنگل تصادفی (RF)		معیار ارزیابی
آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	
0.97	0.98	0.69	0.56	$R^2$
3.80	3.19	15.04	13.42	RMSE
0.97	0.79	0.71	0.50	NSE
0.98	1.10	9.11	7.38	MAE

جدول ۲ نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی جریان در مرحله آموزش و آزمون را در وضع موجود نشان می‌دهد. همانطور که در جدول (۲) نشان داده شده است ضریب تبیین حاصل از این شبیه‌سازی با مدل SVM در مرحله آموزش برابر ۰/۹۸ و شاخص نش-ساتکلیف برابر ۰/۷۹ است. همچنین در مرحله آزمون نیز مقادیر ضریب تبیین و شاخص نش-ساتکلیف به ترتیب برابر ۰/۹۷ و ۰/۹۷ این در حالی است که مقادیری که  $R^2$  می‌تواند اختیار کند بین صفر و یک است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد قابل قبول‌تر است. از طرف دیگر اگر شاخص نش-ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی، اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد رضایت‌بخش و اگر کم‌تر از ۰/۳۶ باشد غیرقابل قبول

توسط کاربری‌های مراتع و جنگل‌های پراکنده پوشیده شده است که با گذشت زمان سطح آنها در حال کاهش است. شکل (۹) کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه را از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد.

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد در گام بعدی، برای بررسی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر سیل حوزه آبخیز مورد مطالعه، ابتدا اقدام به بررسی وضعیت کاربری و روند آن در حوزه آبخیز بهشت‌آباد شد. نتایج بررسی کاربری اراضی نشان داد که بیش‌ترین سطح منطقه



شکل ۹- نقشه‌های کاربری اراضی در دوره ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۰

Figure 9- Land use maps from 1999 to 2020

جنگل‌زدایی حدود ۳۰ درصد از حوضه باعث افزایش ۲۴ درصدی دبی متوسط سالانه می‌شود. بر همین اساس در گام بعدی از این پژوهش اقدام به شبیه‌سازی عملیات بیولوژیک در سطح حوزه آبخیز بهشت‌آباد شد و سپس میزان تاثیر آن بر دبی جریان شبیه‌سازی شد.

سطح کاربری‌های مختلف در سال‌های زمانی مورد بررسی در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج شکل ۹ و جدول ۳ نشان می‌دهد که بیش‌ترین مساحت حوضه از کاربری مرتع تشکیل شده است. جنگل‌های زاگرس و درخچه‌های پراکنده نیز در رده دوم مساحت پوششی اراضی در حوضه قرار دارد. به‌طوری‌که نتایج نشان داد

جدول ۳- سطح کاربری اراضی در سال‌های مورد بررسی

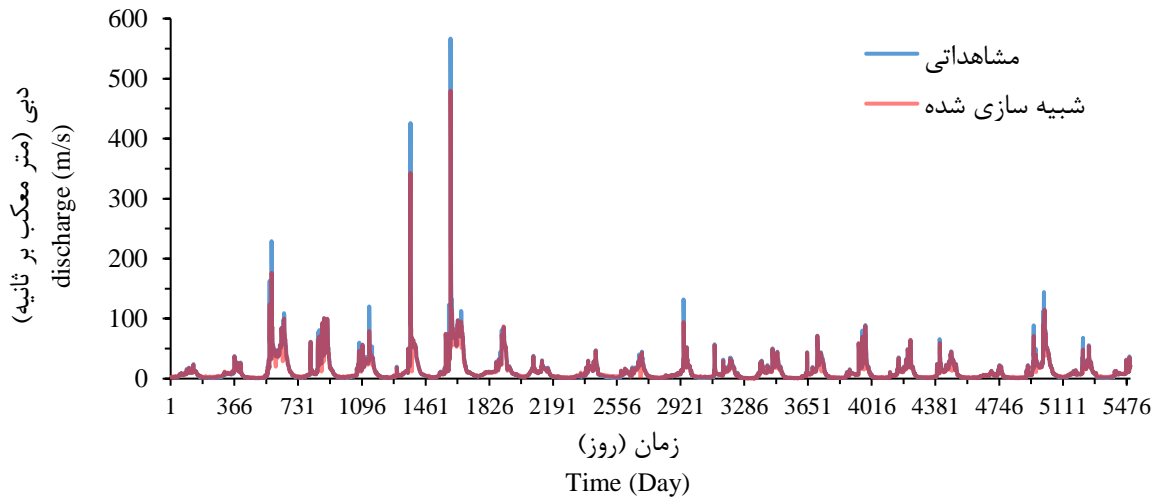
Table 3- Land use area in time studied

سال Year		مساحت (کیلومتر مربع)				کاربری Landuse
2020	2016	2013	2009	2004	1999	
1189.22	1148.67	1068.05	916.02	812.32	810.02	جنگل Forest
30.03	28.99	26.95	23.10	20.49	20.44	درصد
2027.22	2090.09	219.42	2374.88	2465.44	2336/83	مرتع Rangeland
51.19	52.74	55.50	59.90	62.19	58.95	درصد
5.19	5.19	4.46	2.32	0.21	0.43	تالاب Marsh
0.13	0.13	0.11	0.06	0.01	0.01	درصد
281.22	277.47	286.44	326.02	324.49	309.55	کشاورزی Farming
7.10	7.00	7.23	8.22	8.19	7.81	درصد
132.25	116.97	116.88	116.14	116.26	116.31	مسکونی Urban
3.34	2.95	2.95	2.93	2.93	2.93	درصد
323.32	322.49	285.91	227.74	241.49	387.04	سطح بایر Bareland
8.16	8.14	7.22	5.74	6.09	9.76	درصد
1.74	1.74	1.45	1.58	3.88	3.67	سطح پهنه آبی Waterbody
0.04	0.04	0.04	0.04	0.10	0.09	درصد

در پیکسل‌هایی که عملیات بیولوژیک پیش‌بینی شده، مجدداً محاسبه و وارد مدل‌سازی شد. پیکسل‌هایی که موقعیت مستعد برای اجرای عملیات بیولوژیک را داشتند مشخص شد و مقادیر کاربری و NDVI در آن‌ها تغییر پیدا کرد. بر اساس تقسیم‌بندی که در مقادیر NDVI وجود دارد مقادیر مربوط به پوشش گیاهی متوسط به بالا در نظر گرفته شد. شکل‌های (۱۰) تا (۱۳) نتایج اجرای این سناریو در بازه موردنظر (۱۳۷۸/۰۷/۰۱ تا ۱۳۹۹/۱۲/۳۰) بر مبنای مدل SVM و RF را نشان داده است.

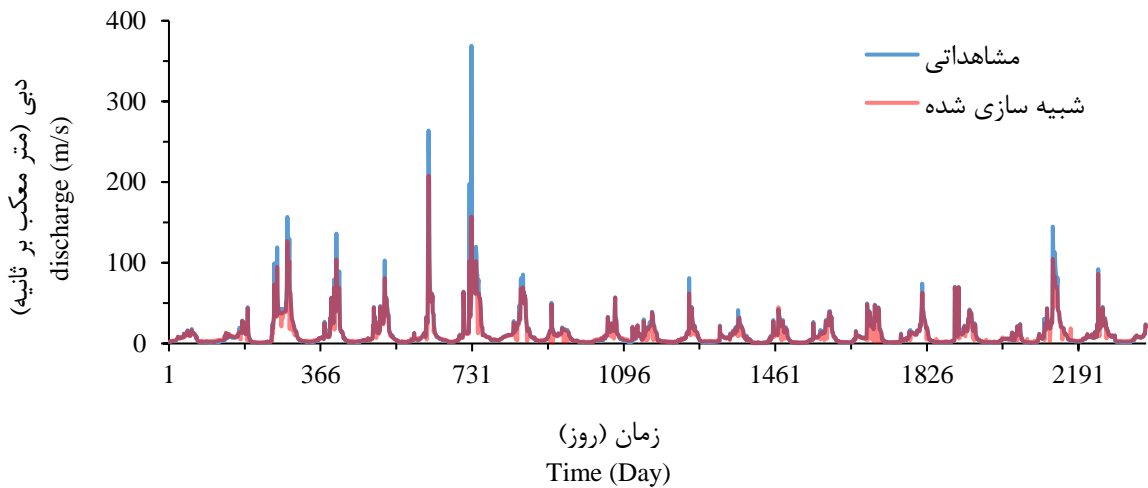
### نتایج سناریوی انجام عملیات بیولوژیک

در حوضه مورد مطالعه عملیات بیولوژیک شامل کپه‌کاری، بذکاری، بذرپاشی و نهال‌کاری انجام شده است که می‌تواند با تأثیر بر روی پارامترهای پوشش گیاهی و کاربری اراضی، ویژگی‌های سیل‌خیزی آن‌را تغییر دهد. بر اساس این سناریو در صورتی که تمامی عملیات بیولوژیک پیشنهاد شده در مطالعات این حوضه انجام شود، باعث بهبود ۳۰ درصدی پوشش گیاهی حوضه خواهد شد که جهت بررسی میزان تاثیر این تغییرات مقادیر عددی شاخص NDVI و کاربری اراضی



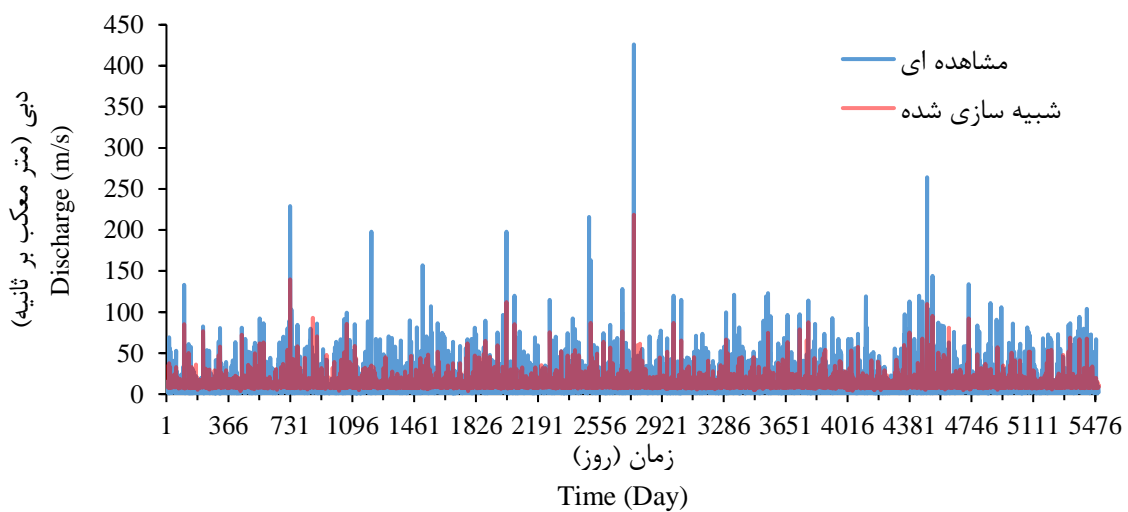
شکل ۱۰- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آموزش مدل SVM برای دوره اول

Figure 10- Simulated discharge of the SVM model during training step for first period



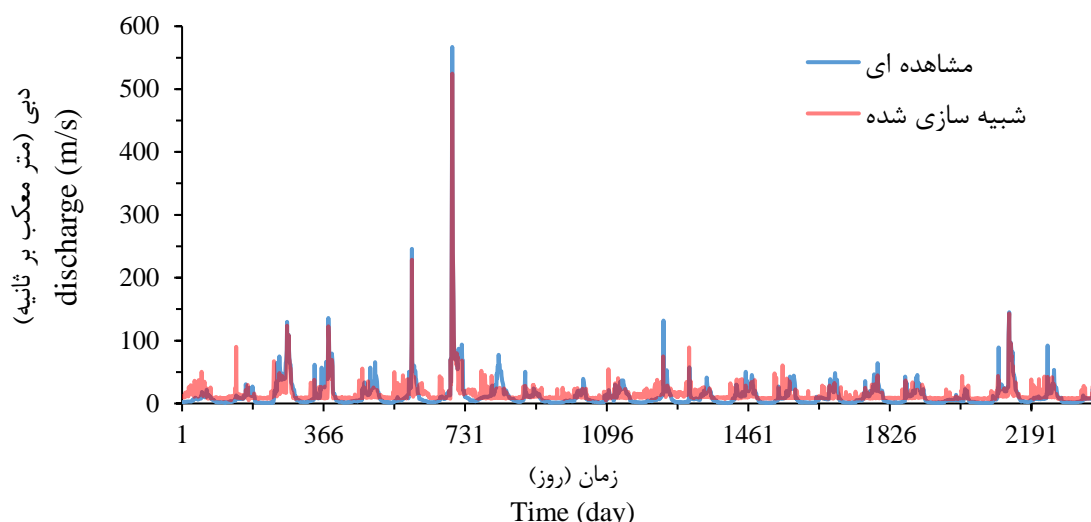
شکل ۱۱- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آزمون مدل SVM برای دوره دوم

Figure 11- Simulated discharge of the SVM model during the test step for the second period



شکل ۱۲- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آموزش مدل RF برای دوره اول

Figure 12- Simulated discharge of the RF model during training step for the first period



شکل ۱۳- دبی شبیه‌سازی شده مرحله آزمون مدل RF برای دوره دوم

Figure 13- Simulated discharge of the RF model during the test step for the second period

جدول ۴- نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها در شبیه‌سازی جریان در مرحله آموزش و آزمون

Table 4- Performance evaluation results of the models in flow simulation during the training and test steps

مدل جنگل تصادفی (RF)		مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)		معیار ارزیابی Evaluation Criteria
آموزش (Train)	آزمون (Test)	آموزش (Train)	آزمون (Test)	
0.07	0.52	0.89	0.96	$R^2$
22.54	13.86	7.62	4.35	RMSE
-0.03	0.47	0.86	0.95	NSE
10.29	8.48	1.89	1.17	MAE

همان‌گونه که در جدول (۴) مشخص است، نتایج آموزش و آزمون نشان‌دهنده کارایی خوب مدل SVM برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوزه آبخیز بهشت‌آباد است. به‌نحوی که طبق نتایج به‌دست آمده مقدار ضریب تبیین در مرحله آموزش و آزمون به ترتیب برابر ۰/۹۶ و ۰/۸۹ بوده است. همچنین مقدار شاخص نش-ساتکلیف برای مرحله آموزش برابر ۰/۹۵ و برای مرحله آزمون ۰/۸۶ بوده است.

### بحث

در حوزه آبخیز بهشت‌آباد عملیات بیولوژیک شامل کپه‌کاری، بذکاری و بذپاشی و نهال‌کاری انجام شده

همان‌طور که در شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ نشان داده شد، بیش‌ترین میزان جریان دبی شبیه‌سازی شده با مدل SVM در منطقه مورد مطالعه حدود ۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه بوده که در سال ۱۳۸۳ رخ داده است و همچنین بیش‌ترین میزان جریان دبی شبیه‌سازی شده با مدل RF حدود ۵۲۰ مترمکعب بر ثانیه بوده که در سال ۱۳۹۵ رخ داده است.

### معیارهای ارزیابی مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی دقت و قابلیت مدل‌های SVM و RF جهت شبیه‌سازی دبی جریان بر اساس مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده از معیارهای ارزیابی ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق در سناریوی اجرای اقدامات بیولوژیک، مدل ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با مدل جنگل تصادفی عملکرد بهتری در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه داشته است. جدول (۴) نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها در شبیه‌سازی جریان در مرحله آموزش و آزمون را نشان می‌دهد.

داشته است. Tongal و Booiz (۲۰۱۸) جریان را در چهار رودخانه در ایالات متحده با رگرسیون بردار پشتیبانی (SVR)، شبکه‌های عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی (RF) به عنوان تابعی از بارش، دما و تبخیر و تعرق بالقوه شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد عملکرد مدل RF نسبت به بقیه مدل‌ها در شبیه‌سازی جریان بهتر بوده است. Essam و همکاران (۲۰۲۲) به منظور پیش‌بینی جریان سطحی از روش‌های یادگیری ماشین استفاده کردند و بیان داشتند که مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به ماشین بردار پشتیبان قابلیت بالاتری در پیش‌بینی جریان رودخانه دارد. همچنین Lin و همکاران (۲۰۰۶) با پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه مان‌وان با روش‌های یادگیری ماشین (شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی آرما و ماشین بردار پشتیبان) اعلام کردند که مدل ماشین بردار پشتیبان یک روش بسیار کارآمد جهت پیش‌بینی سیل در رودخانه مورد بررسی می‌باشد. در مطالعه Bigdeli و همکاران (۲۰۲۳) با هدف استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی بارش-رواناب حوزه آبخیز آجی‌چای، بیان داشتند که مدل شبکه عصبی مصنوعی عملکرد و کارایی بالاتری نسبت به مدل جنگل تصادفی داشته است. بر اساس نتایج، استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین گزینه مناسبی برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ی طرح‌ها و پروژه‌های پیش‌بینی جریان روخانه و جریان سیلی و کنترل و مدیریت سیل در حوزه‌های آبخیز می‌باشند. در اغلب مطالعات از جمله Zaniial و همکاران (۲۰۲۳)، Bak و Bae (۲۰۲۳) نیز استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی جریان با عملکرد و دقت بالا گزارش شده است.

### نتیجه‌گیری کلی

نقش اقدامات آبخیزداری به‌صورت بیولوژیک در حوزه‌های آبخیز در کاهش میزان رواناب سطحی و

است که می‌تواند با تأثیر بر پارامترهای پوشش گیاهی و کاربری اراضی، ویژگی‌های سیل‌خیزی حوضه را تغییر دهد. تغییرات کاربری اراضی در طول دوره مورد بررسی بیان‌گر کاهش سطح پوشش گیاهی و افزایش زمین‌های انسان‌ساخت (کاربری مسکونی) می‌باشد که اهمیت زیادی در شماره منحنی (CN) و فرآیند تبدیل بارش به رواناب در حوضه دارد که بر اساس مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مطالعه Dos Santos و همکاران (۲۰۱۸) نشان می‌دهد که تغییرات پوشش زمین به‌طور قابل‌توجهی بر جریان (Q) و اجزای تعادل آب<sup>۸</sup> (WBC) در یک حوضه گرمسیری تأثیر می‌گذارد. همچنین با توجه به کاهش پوشش جنگلی در محدوده مورد مطالعه امکان افزایش رواناب و کاهش نفوذ نیز وجود دارد که در مطالعه Costa و همکاران (۲۰۰۳) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

نتایج اجرای این سناریو در بازه موردنظر (۱۳۷۸/۰۷/۰۱ تا ۱۳۹۹/۱۲/۳۰) بر مبنای مدل‌های SVM و RF نشان داد که اقدامات بیولوژیک توانسته دبی جریان را کاهش دهد و اثر کم‌تری روی دبی اوج داشته باشد. عملیات آبخیزداری سبب نفوذ رواناب به داخل خاک می‌شود و از طریق جریان آب زیرزمینی به چرخه آب باز می‌گردد که نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج Golzari و همکاران (۲۰۲۰) و Mehri و همکاران (۲۰۲۳) همسو بود. مقایسه نتایج به‌دست آمده با پژوهش‌های مشابه بیانگر نزدیک بودن آماره‌های به دست آمده با پژوهش Essam و همکاران (۲۰۲۲) است. با توجه به بالا بودن میزان معیارهای ارزیابی مدل SVM در شبیه‌سازی دبی جریان حوزه آبخیز مورد بررسی نسبت به مدل RF نتایج بهتری را ارائه داد.

مقایسه نتایج مدل‌های SVM و RF نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان عملکرد بهتری نسبت به مدل جنگل تصادفی در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه

آبخیزداری سبب نفوذ رواناب به داخل خاک می‌شود و از طریق جریان آب زیرزمینی به چرخه آب باز می‌گردد. مقایسه نتایج دو مدل یادگیری ماشین، مدل ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان عملکرد بهتری نسبت به مدل جنگل تصادفی در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه داشته است. بر اساس نتایج استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین جهت صرفه‌جویی در هزینه و زمان انجام طرح‌ها و پروژه‌های مدیریت و کنترل سیلاب بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نتایج کلی نشان‌دهنده تأثیر قابل قبول اقدامات آبخیزداری در سطح آبخیز مورد بررسی بوده است. به‌نحوی که طبق نتایج به‌دست آمده در صورت اجرای عملیات آبخیزداری میزان حجم دبی را کاهش دهد. لذا، پیشنهاد می‌گردد با پتانسیل‌سنجی منطقه نسبت به اقدامات آبخیزداری به صورت بند توری‌سنگی، سنگی ملاتی، بانکت‌بندی و خشکه‌چین که سبب کاهش رواناب سطحی نسبت به عدم اجرای عملیات آبخیزداری خواهد شد اقدام گردد.

اثرگذاری آن بر متغیرهای سیل، از طریق تأثیر آنها بر زمان تمرکز و شماره منحنی حوزه آبخیز، امری غیرقابل انکار است. از طرفی، بررسی میزان تأثیر این اقدامات بر فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز اجتناب‌ناپذیر است. حوزه آبخیز بهشت‌آباد یکی از حوزه‌های آبخیز مهم کشور به دلیل موقعیت خاص قرارگیری آن بوده که سیل حاصل از آن به‌صورت مستقیم وارد مراکز مسکونی می‌شود. بر همین اساس، پژوهش حاضر نیز با هدف شبیه‌سازی اثر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش یادگیری ماشین، برنامه‌ریزی شد. نتایج کلی نشان‌دهنده تأثیر قابل قبول این اقدامات در سطح حوزه آبخیز مورد بررسی بوده است. به‌نحوی که طبق نتایج به‌دست آمده، اقدامات بیولوژیک توانسته دبی جریان را کاهش دهد و اثر کم‌تری بر روی دبی اوج داشته باشد. در حوزه آبخیز بهشت‌آباد عملیات بیولوژیک شامل کپه‌کاری، بذکاری و بذپاشی و نهال‌کاری انجام شده است که می‌تواند با تأثیر روی پارامترهای پوشش گیاهی و کاربری اراضی، ویژگی‌های سیل‌خیزی حوضه را تغییر دهد. عملیات

## References

- Abdi, P. (2016). Investigating the flood potential of Zanjanroud basin with SCS method and geographic information system, National Committee for Irrigation and Drainage, Technical workshop for coexistence with floods. (In Persian)
- Ahmadi, H., & Rahimi, H. (2022). Using a deep learning approach to estimate floods based on area precipitation pattern. *Water and Irrigation Management*, 11(4), 753-767. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.328451.909> (In Persian)
- Bagherian Kalat, A., Lashkaripour, Gh.R., & Gafoori, Mohammad. (2021). Evaluating the Impacts of Implemented Watershed Management Project on Vegetal Cover and Sediment Yield in Kakhk Watershed Project. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(7), 51-63. [10.30495/jest.2022.27360.3642](https://doi.org/10.30495/jest.2022.27360.3642) (In Persian)
- Bak, G., & Bae, Y. (2023). Deep learning algorithm development for river flow prediction: PNP algorithm. *Soft Computing*, 27(18), 13487-13515. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08254-1>
- Bigdeli, Z., Majnooni Heris, A., Delirhasannia, R., & Karimi, S. (2023). Rainfall-Runoff Modeling of Aji Chai Basin Using Random Forest and Artificial Neural Network Models. *New Research in Sustainable Water Engineering*, 1(2), 27-42. <https://doi.org/10.22103/mrswe.2023.20278.1013> (In Persian)
- Botsis, D., Latinopulos, P., & Diamantaras, K. (2011, September). *Rainfall-runoff modeling using support vector regression and artificial neural networks*. In 12th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2011) (pp. 8-10).
- Convertino, M., Annis, A., & Nardi, F. (2019). Information-theoretic portfolio decision model for optimal flood management. *Environmental Modelling & Software*, 119, 258-274.

- <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.06.013>
- Costa, M. H., Botta, A., & Cardille, J. A. (2003). Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of hydrology*, 283(1-4), 206-217. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1)
- Dawson, C. W., Abrahart, R. J., Shamseldin, A. Y., & Wilby, R. L. (2006). Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. *Journal of hydrology*, 319(1-4), 391-409. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.032>
- de Oliveira Serrão E A, Silva M T Ferreira T, R, de Ataide LC P, dos Santos C A, de Lima AMM, Gomes DJ C. (2022). Impacts of land use and land cover changes on hydrological processes and sediment yield determined using the SWAT model. *International J. of Sediment Research*. 37(1), 54-69. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2021.04.002>
- Dos Santos, V., Laurent, F., Abe, C., & Messner, F. (2018). Hydrologic response to land use change in a large basin in eastern Amazon. *Water*, 10(4), 429. <https://doi.org/10.3390/w10040429>
- Eslahi, M., Poursaghar, F., Mansouri Derakhshan, N., & Akbarzadeh, U. (2022). The estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) with Flood Forecast Approach in Urmia Lake Basin. *Journal of Climate Research*, 1401(49), 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105436> (In Persian)
- Essam, Y., Huang, Y. F., Ng, J. L., Birima, A. H., Ahmed, A. N., & El-Shafie, A. (2022). Predicting streamflow in Peninsular Malaysia using support vector machine and deep learning algorithms. *Scientific reports*, 12(1), 3883. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07693-4>
- Fallah, M., Bahrami, H., Asadi, H. (2022). Investigating Capabilities of Machine Learning Techniques in Forecasting Daily Streamflow Using Some Meteorological Data and Normalized Difference Snow Index (Case Study: Latian and Navroud Basins). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(5), 1127. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.338986.669207> (In Persian)
- Gharakhanlou, N. M., & Perez, L. (2023). Flood susceptible prediction through the use of geospatial variables and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 617, 129121. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129121>
- Golzari S, Zareabyaneh H, Delavar M, Mobargaei Dinan N. (2020). Performance of SWAT Model in Quantitative and Qualitative Simulation of Runoff and Watershed Protective Measures in Zarrinehrood Basin. *JWMMR*, 11(22) :111-120. <https://doi.org/10.52547/jwmmr.11.22.111> (In Persian)
- Hasani, A., Modaresi, F., & Ebrahimi, K. (2021). Evaluation of intelligent prediction models towards precision of flood peak flows. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(4), 794-804. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.2021.15.4.5.5> (In Persian)
- Jiang, Z., Yang, S., Liu, Z., Xu, Y., Xiong, Y., Qi, S., ... & Xu, T. (2022). Coupling machine learning and weather forecast to predict farmland flood disaster: A case study in Yangtze River basin. *Environmental Modelling & Software*, 155, 105436. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105436>
- Jonkman, S. N. (2005). Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Natural hazards*, 34(2), 151-175. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-8891-3>
- Koohdarzi Moghaddam, M., Taghipour, S. M., & Erfani Pourghasemi, V. (2022). Effectiveness of watershed management measures on soil erosion and sediment yield reduction (Case study: Doholkooch Watershed, South Khorasan Province). *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 1-17. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.10282.1080> (In Persian)
- Lawal, Z. K., Yassin, H., & Zakari, R. Y. (2021, December). Flood prediction using machine learning models: a case study of Kebbi state Nigeria. In *2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)* (pp. 1-6). IEEE.

- Legates, D. R., & McCabe Jr, G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), 233-241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
- Lin, J. Y., Cheng, C. T., & Chau, K. W. (2006). Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological sciences journal*, 51(4), 599-612. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.4.599>
- Mehri S, Moradi H.R, Mostafazadeh R. (2023). Simulation and determination of hydrological balance components in the upstream of Gheshlagh dam using SWAT model. *Environment and Water Engineering*. doi: <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.360340.1805> (In Persian)
- Mostafaei, S., Moosavi, V., & Berndtsson, R. (2023). Comparing the Performance of Deep Learning, Polynomial Neural Network and HEC-HMS Models in Predicting Daily Runoff. *Iran-Water Resources Research*, 19(4), 16-33. <https://doi.org/10.22034/iwrr.2023.172260> (In Persian)
- Panahi, A., Janbaz Ghobadi, Gh., khaledi, Sh., Motavalli, S. (2023). Forecasting and zoning flood potential according to climate change algorithms (Case Study: Garganrood Watershed). *Geography*, 21(78): 109-134. <https://doi.org/20.1001.1.27833739.1402.21.78.7.2> (In Persian)
- Puttinaovarath, S., & Horkaew, P. (2020). Flood forecasting system based on integrated big and crowdsource data by using machine learning techniques. *IEEE Access*, 8, 5885-5905. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2963819>
- Saedi, A., Saghafian, B., & Moazami, S. (2020). Uncertainty of Flood Forecasts via ensemble precipitation forecasts of seven NWP Models for Spring 2019 Golestan Flood. *Iran-Water Resources Research*, 16(1), 347-359. <https://doi.org/20.1001.1.17352347.1399.16.1.23.7> (In Persian)
- Sattari, M., Abdollah Pourazad, M., & Mirabbasi Najafabadi, R. (2016). Technical Note: Hourly river flow forecast of Aharchay River using machine learning methods. *Watershed Engineering and Management*, 8(1), 115-127. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.105979>. (In Persian)
- Shabanlou, S., Sedghi, H., Saghafian, B., & Mousavi, S. H. (2008). Flood zoning in Golestan's rivers network using GIS. *Iranian Water Researches Journal*, 2(2), 11-22. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018> (In Persian)
- Silveira, L., Charbonnier, F., & Genta, J. L. (2000). The antecedent soil moisture condition of the curve number procedure. *Hydrological sciences journal*, 45(1), 3-12. <https://doi.org/10.1080/02626660009492302>
- Sönmez, O., & Bizimana, H. (2020). Flood hazard risk evaluation using fuzzy logic and weightage-based combination methods in geographic information system. *Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering*, 27(2), 517-528. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.21037>
- Tongal, H., & Booiij, M. J. (2018). Simulation and forecasting of streamflows using machine learning models coupled with base flow separation. *Journal of hydrology*, 564, 266-282. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.004>
- Zanial, W. N. C. W., Malek, M. B. A., Reba, M. N. M., Zaini, N., Ahmed, A. N., Sherif, M., & Elshafie, A. (2023). River flow prediction based on improved machine learning method: Cuckoo Search-Artificial Neural Network. *Applied Water Science*, 13(1), 28. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01830-0>
- Zehra, N. (2020). Prediction analysis of floods using machine learning algorithms (NARX & SVM). *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 49(2), 24-34. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2963819>

## Comparison of the Facebook's Prophet, Thornthwaite, and Blaney-Criddle Models for daily evapotranspiration time series forecasting (Case study: Aleshtar county)

Hafez Mirzapour, Ali Haghizadeh\*, Shohkufe Hasanvand, Leila Ghasemi

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

\* Corresponding author; Email: [alihaghi20@gmail.com](mailto:alihaghi20@gmail.com)

(Received: 29 July 2024

Revised: 15 September 2024

Accepted: 12 October 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Evapotranspiration is one of the most important components of the hydrological cycle. However, due to its complexity, it is difficult to estimate as it can be influenced by numerous factors. Estimating evapotranspiration is crucial for studies such as water resources management and global climate change. In this research, due to the high importance of evapotranspiration estimation, modeling and forecasting of evapotranspiration values in the city of Aleshtar and the selection of the most suitable model were addressed.

**Materials and methods:** In this study, evapotranspiration was simulated using the Blaney-Criddle and Thornthwaite methods, as well as Facebook's Prophet model. Facebook's Prophet model is available in both R and Python programming languages. In the Facebook's Prophet model, the evaporation trend is determined on a weekly, seasonal, and annual basis. For this purpose, the data used in this study were obtained from the Aleshtar weather station for the statistical period of 2017-2023. Initially, the trend of evapotranspiration was investigated using the Mann-Kendall test. Subsequently, the Blaney-Criddle, Thornthwaite, and Facebook's Prophet models were run using the average temperature. Finally, evaluation criteria were used to assess the performance of the models and determine the most suitable one. These criteria included the root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), coefficient of determination ( $R^2$ ), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), Pearson correlation coefficient (Pearson's  $r$ ), and Willmott's index of agreement ( $d$ ).

**Results and Discussion:** Analysis of the time series of precipitation, mean temperature, and mean relative humidity data in relation to evapotranspiration revealed that despite fluctuations in the time series of these factors, there was an increasing trend in mean temperature and mean precipitation; and the evapotranspiration data exhibited an upward trend, indicating an increase in evapotranspiration over the study period. Model performance evaluation results showed that Facebook's Prophet model performed best with the lowest root mean square error (RMSE=1.33), mean absolute error (MAE=0.79), highest coefficient of determination ( $R^2=0.88$ ), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE=0.88), Willmott's index of agreement ( $d=0.967$ ), and Pearson correlation coefficient (Pearson's  $r = 0.939$ ) compared to other models. The results showed that the mean actual evapotranspiration, as well as the simulated evapotranspiration using the Blaney-Criddle, Thornthwaite, and Facebook's Prophet model methods during the statistical period were 4.06, 5.28, 5.26, and 4.11 mm, respectively. Facebook's Prophet model provided the closest simulation of evapotranspiration compared to the observed values. The Mann-Kendall test confirmed an increasing trend in the data, suggesting a rise in evapotranspiration over the statistical period. Additionally, it was observed that the time series data for the Blaney-Criddle method and Facebook's Prophet model exhibited a relatively regular trend, while the Thornthwaite method showed an irregular trend in evapotranspiration data over time. According to the Facebook's Prophet model, evapotranspiration reached its peak during the dry months, from early July to early October, and was at its lowest during the cold months of January, February, and March. Additionally, a weekly analysis revealed that the highest and lowest evaporation and transpiration rates occurred on Tuesday and Fridays, respectively. Based on the research findings, the performance of the Blaney-Criddle and Thornthwaite methods is very similar.

**Conclusion:** Based on the results, it can be concluded that due to the suitable accuracy of the Facebook's Prophet model in predicting evapotranspiration, this model can be used in future studies as well. Additionally, based on the results, the one-year forecast trend indicated that the increase in evapotranspiration in Aleshtar County will continue. Therefore, careful planning is necessary to mitigate evapotranspiration. The findings of this research can also be applied to optimize water management strategies.

**Keywords:** Mann-Kendall test, Evapotranspiration, Time series, Facebook's Prophet model.

Citation: Mirzapour, H., Haghizadeh, A., Hasanvand, Sh., & Ghasemi, L. (2025). Comparison of the Facebook's Prophet, Thornthwaite, and Blaney-Criddle Models for daily evapotranspiration time series forecasting (Case study: Aleshtar county). *Integrated Watershed Management*, 5(1), 97-111. doi: 10.22034/iwm.2024.2037072.1168

### 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 مدل‌های Facebook's Prophet و Blaney-Criddle و Thornthwaite در پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر و تعرق روزانه (مطالعه موردی: شهرستان اشتر)

حافظ میرزاپور، علی حقی‌زاده\*، شکوفه حسونند، لیلا قاسمی

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

\* نویسنده مسئول: [alihaghi20@gmail.com](mailto:alihaghi20@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی است، اما به دلیل پیچیدگی، تخمین آن دشوار است، زیرا تحت تأثیر عوامل متعددی قرار گیرد. برآورد تبخیر و تعرق در انجام مطالعاتی از قبیل کنترل و مدیریت منابع آبی و تغییر اقلیم جهانی بسیار حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر، به دلیل اهمیت بالای برآورد تبخیر و تعرق، به مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر تبخیر و تعرق در شهرستان اشتر و انتخاب مناسب‌ترین مدل پرداخته شد. **مواد و روش‌ها:** در این پژوهش شبیه‌سازی تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite، و مدل Facebook's Prophet انجام شد. مدل Facebook's Prophet در زبان‌های برنامه‌نویسی R و Python قابل دسترس می‌باشد. در مدل Facebook's Prophet روند تبخیر و تعرق به صورت هفتگی، فصلی و سالانه تعیین می‌شود. به همین منظور داده‌های مورد استفاده در این پژوهش برای دوره آماری ۱۴۰۲-۱۳۹۶ از ایستگاه هواشناسی شهرستان اشتر دریافت شد. در ابتدا روند تبخیر و تعرق با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از دمای میانگین روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite، و مدل Facebook's Prophet اجرا شدند. نهایتاً، معیارهای بررسی عملکرد مدل‌ها جهت تعیین مناسب‌ترین مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند. این معیارها شامل پارامترهای میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تعیین ( $R^2$ ) ضریب نش ساتکلایف (NSE) ضریب همبستگی پیرسون (Pearson's r) و شاخص توافق ویلموت (d) بودند.

**نتایج و بحث:** با بررسی روند سری زمانی داده‌های بارش، دمای میانگین و رطوبت میانگین هوا نسبت به تبخیر و تعرق مشخص گردید که با وجود نوسان در سری زمانی این عوامل، روند افزایشی میانگین دما و همچنین روند افزایشی میانگین بارندگی دیده می‌شود و روند داده‌های تبخیر و تعرق به صورت صعودی بوده و تبخیر و تعرق در طی سالیان مورد پژوهش در حال افزایش است. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها نشان داد که مدل Facebook's Prophet با میانگین مربعات خطا ( $RMSE=1.33$ )، میانگین خطای مطلق ( $MAE=0.79$ )، ضریب تعیین ( $R^2=0.88$ )، ضریب نش ساتکلایف ( $NSE=0.88$ )، شاخص توافق ویلموت ( $d=0.967$ ) و ضریب همبستگی ( $Pearson's\ r = 0.939$ ) بهتر نسبت به سایر مدل‌ها، دارای بهترین عملکرد بود. نتایج نشان دهنده این بود که میانگین تبخیر و تعرق واقعی و همچنین شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite، و مدل Facebook's Prophet در طی دوره آماری به ترتیب برابر با ۴/۰۶، ۵/۲۸، ۵/۲۶ و ۴/۱۱ میلی‌متر می‌باشد. مدل Facebook's Prophet نزدیک‌ترین شبیه‌سازی تبخیر و تعرق را نسبت به مقادیر مشاهداتی داشت. آزمون من-کندال نشان داد که روند داده‌ها صعودی است و تبخیر و تعرق در طول دوره آماری در حال افزایش می‌باشد. علاوه بر این سری زمانی مشاهده شده در روش‌های Blaney-Criddle و مدل Facebook's Prophet از روند تغییرات تقریباً منظمی برخوردارند، در حالی که در روش Thornthwaite داده‌های تبخیر و تعرق در طول سری زمانی روند نامنظمی داشتند. براساس نتایج مدل Facebook's Prophet، تبخیر و تعرق در ماه‌های خشک سال از اوایل تیرماه تا اوایل مهرماه بیشترین حد خود را داشته و در ماه‌های سرد سال از قبیل دی‌ماه، بهمن‌ماه و اسفندماه دارای پایین‌ترین حد خود بودند. همچنین بر اساس بررسی هفتگی مشخص گردید که در روز سه‌شنبه و جمعه به ترتیب بیشترین و کمترین تبخیر و تعرق اتفاق افتاده است. براساس نتایج تحقیق، عملکرد روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite بسیار به یکدیگر نزدیک است. نتیجه‌گیری: براساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به دقت مناسب مدل Facebook's Prophet در پیش‌بینی تبخیر و تعرق، می‌توان در مطالعات آبی نیز از این مدل استفاده کرد. همچنین براساس نتایج حاصل، روند یکسال پیش‌بینی داده‌ها نشان داد که افزایش تبخیر و تعرق در شهرستان اشتر ادامه خواهد داشت. لذا به منظور کاهش تبخیر و تعرق بایستی برنامه‌ریزی‌های دقیق صورت گیرد. همچنین می‌توان از نتایج پژوهش حاضر در برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از آب استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** آزمون من-کندال، تبخیر و تعرق، سری زمانی، مدل Facebook's Prophet

**استناد:** میرزاپور، ح.، حقی‌زاده، ع.، حسونند، ش. و قاسمی، ل. (۱۴۰۴). مقایسه مدل‌های Facebook's Prophet، Blaney-Criddle و Thornthwaite در پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر و تعرق روزانه (مطالعه موردی: شهرستان اشتر). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۹۷-۱۱۱.

### حق چاپ:



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

## مقدمه

طراحی کانال‌های آبیاری و تقسیم آب داشته و همچنین روی بلایای طبیعی مانند خشکسالی مؤثر است (Mobasheri *et al.*, 2005). برخی از عوامل اصلی و مؤثر بر تبخیر و تعرق عبارتند از دما، بارش، رطوبت و تابش خورشیدی. هر تغییری در این پارامترها بر میزان تبخیر و تعرق و آب مورد نیاز گیاه تأثیر خواهد گذاشت (Le Houérou, 1996). مدل‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده است که تفاوت عمده آنها در تعداد پارامترهای هواشناسی مورد نیاز است و لازم است در هر منطقه باتوجه به داده‌های هواشناسی، بهترین روش غیرمستقیم جهت برآورد انتخاب گردد (Pour Yazdankhah *et al.*, 2013). اطلاع از وضعیت آبی تبخیر و تعرق در مقیاس‌های هفتگی و ماهانه می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها برای برنامه‌ریزی بهتر کمک کند. پژوهشگران زیادی با استفاده از مدل‌های مختلف به بررسی و پیش‌بینی تبخیر و تعرق پرداخته‌اند که در ادامه به تعدادی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

Oo و Phyu (۲۰۲۰) با استفاده از مدل Prophet دمای شهر ماینتکیینا در کشور میانمار، را پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که پیش‌بینی دمای دو سال آینده بسیار نزدیک و منطبق بر داده‌های اندازه‌گیری شده است؛ اما با افزایش بازه زمانی، خطا بیشتر شده است. Thiyagarajan و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل Prophet به پیش‌بینی دما و ردیابی ناهمسانی در سیستم‌های حسگر دمایی در سطح دریا در استرالیا پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که مدل Prophet عملکرد مناسب‌تری از مدل‌هایی مانند Auto ARIMA و Bagged داشته است و نیز با افزایش بازه پیش‌بینی از یک روز به هفت روز، نتایج مدل بهبود یافته است. Haris و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی، به پیش‌بینی دمای هوای شهر جاکارتا با استفاده از مدل‌های LSTM و Prophet پرداخته‌اند. در این پژوهش دمای هوا در بازه‌های زمانی ۲ تا ۱۶۸ ساعت مورد پیش‌بینی قرار گرفته‌اند که مطابق نتایج، با افزایش بازه زمانی

امروزه افزایش خشکسالی ناشی گرمایش جهانی، یکی از مهم‌ترین مسائلی است که موجب افزایش روزافزون اهمیت مدیریت منابع آب در برخی مناطق شده است (Sarigöl & Katipoğlu, 2024). تبخیر و تعرق یک عنصر اساسی در چرخه هیدرولوژی است که نقش حیاتی در تعادل آب (Shabani *et al.*, 2024) به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک (Cem Kuzucu & Taş, 2024) ایفا می‌کند. به تعبیر Adesogan و Sasanya (۲۰۲۳) تبخیر و تعرق انرژی است که چرخه هیدرولوژی را به حرکت درمی‌آورد (Adesogan & Sasanya, 2023). کنترل تبخیر در بهینه‌سازی استفاده از انرژی آب، کاهش هزینه‌های برق و کاهش اثرات زیست‌محیطی نقش اساسی دارد (Wang *et al.*, 2024). تبخیر و تعرق، دما و رطوبت موجود در جو را تعدیل می‌کنند. به همین دلیل، ارتباط زیادی بین اقلیم، هیدرولوژی و بوم‌شناسی وجود دارد (Gharbia *et al.*, 2018). برآورد دقیق تبخیر و تعرق می‌تواند در مطالعاتی از قبیل بررسی تغییرات اقلیم جهانی و کنترل منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد (Liu *et al.*, 2010). همچنین در طرح‌های آبیاری، تأسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی بسیار حائز اهمیت است. به‌طور کلی تبخیر و تعرق پدیده‌ای با تغییرات مکانی است، نه نقطه‌ای و با توجه به تغییرات مکانی، عوامل دخیل در تبخیر اعم از سطح تبخیر شونده و عوامل محیطی مؤثر بر آن می‌بایست به طور صحیح مدل‌سازی گردد (Allen *et al.*, 2007). تبخیر و تعرق یکی از ویژگی‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی و کاربردی برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در هر منطقه می‌باشد (Granger, 2000). از طرفی تبخیر و تعرق تأثیر قابل ملاحظه‌ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی دارد و تخمین و برآورد آن کاربردهای مهمی در پیش‌بینی رواناب، پیش‌بینی عملکرد محصول و تعیین کاربری اراضی،

مصنوعی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که نوسانات دما بیشتر در فصل پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. با توجه به روند تغییر اقلیم و نیز در فصل تابستان بادهای غربی غیرفعال می‌باشند، لذا بیشترین دقت اندازه‌گیری پیش‌بینی دما در فصل تابستان و کمترین دقت اندازه‌گیری در فصل پاییز است.

براساس مطالعات انجام شده، میزان تبخیر و تعرق ارتباط مستقیمی با متغیرهای اقلیمی قرار دارد. بنابراین، انتظار بر این است که با ایجاد تغییر در پارامترهای اقلیمی به خصوص دمای هوا و بارش، میزان تبخیر و تعرق نیز تغییر یابد؛ به همین دلیل، بررسی تغییرات پارامترهای هواشناسی و نیز تأثیرات آنها روی تبخیر و تعرق پتانسیل در هر منطقه اهمیت زیادی دارد. در شهرستان الشتر نیز با توجه افزایش دما بایستی روند تغییرات تبخیر و تعرق مورد بررسی قرار گیرد. چرا که افزایش تبخیر و تعرق افزایش نیاز آبی را در پی دارد و بایستی مدیریت بهینه منابع آب صورت گیرد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر تبخیر و تعرق در شهرستان الشتر با استفاده از مدل Prophet و روش‌های Thornthwaite و Blaney-Criddle است، در نهایت نیز مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق در شهرستان الشتر معرفی می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

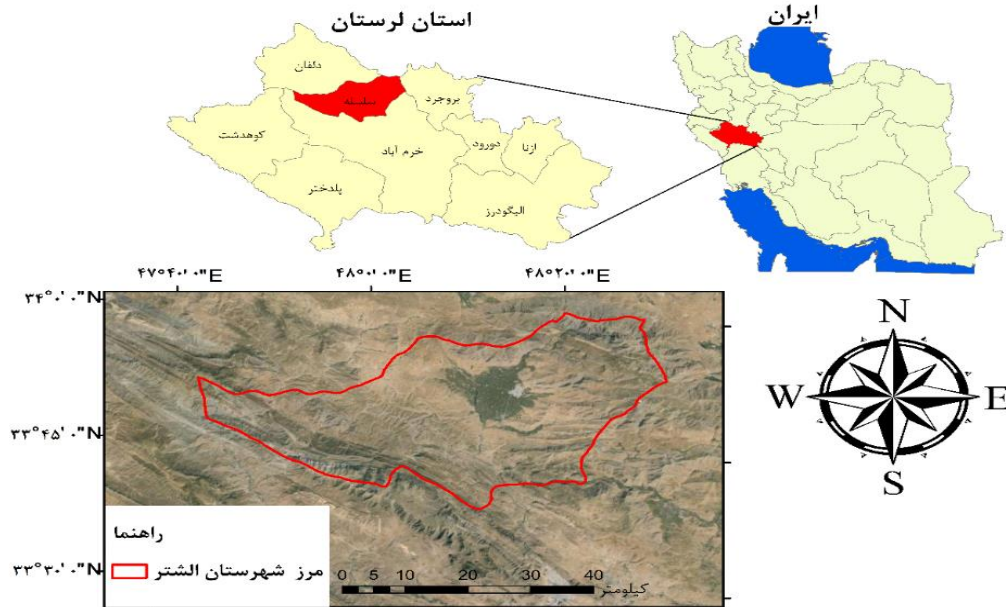
شهرستان الشتر در شمال استان لرستان با مساحت ۱۵۶۷ کیلومترمربع بین طول جغرافیایی ۴۳' ۴۷° تا ۳۱' ۴۸° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸' ۳۳° درجه تا ۱' ۳۴° شمالی واقع شده است (شکل ۱). از نظر ژئومورفولوژی، این حوضه به دو واحد کوه و دشت تقسیم می‌شود که دارای اقلیم مدیترانه‌ای است (Amouzegari et al., 2020). میانگین بارندگی ۴۸۰ میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۶۷/۵ متر است. حداقل دما ۷- و حداکثر مقدار در این منطقه برابر با

پیش‌بینی، خروجی مدل Prophet دارای خطای کمتری نسبت به LSTM بوده است. Abdelraouf و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی چندین روش مبتنی بر دما نسبت به معادله پنمن مانیتث در استان قهرمان مرعش<sup>۱</sup> در کشور ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کلی بیانگر آن بود که تکنیک‌های Samani & Hargreaves و Blaney-Criddle اصلاح‌شده می‌توانند جایگزین مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق باشند. Elagib و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی تأثیر تبخیر و تعرق بر شدت خشکسالی را در سودان و سودان جنوبی بررسی کردند. نتایج مرتبط با پژوهش حاضر نشان داد که روش Thornthwaite در مناطقی که متغیرهای هواشناسی کامل در دسترس نیستند ارزش بسیاری دارد. Ataei و همکاران (۲۰۲۰) روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی را به روش پنمن مانیتث مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. نتایج این تحلیل نشان دهنده‌ی این بود که تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) سالانه تمامی ایستگاه‌های استان دارای مقدار مثبت از آماره آزمون  $Z_{MK}$  هستند و در هفت ایستگاه این روند در سطح ۵ درصد معنی دار است. Heidari Motlagh و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در دشت الشتر پرداختند. در این تحقیق ۱۵ مدل مختلف جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که مدل‌های

Jensen-Hayes و Turc از گروه تشعشعی به ترتیب با  $(RMSE = 1/14)$  و  $(RMSE = 1/42)$  میلی‌متر و مدل Samani & Hargreaves از گروه دمایی با  $(RMSE = 1/72)$  میلی‌متر بیشترین دقت را جهت برآورد  $(ET_0)$  را در منطقه مطالعاتی داشتند. Hassanvand و همکاران (۲۰۲۲) در یک مطالعه به بررسی تغییر اقلیم در ناحیه غربی ایران استان لرستان شهرستان الشتر بر مبنای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات دما با استفاده از مدل شبکه عصبی

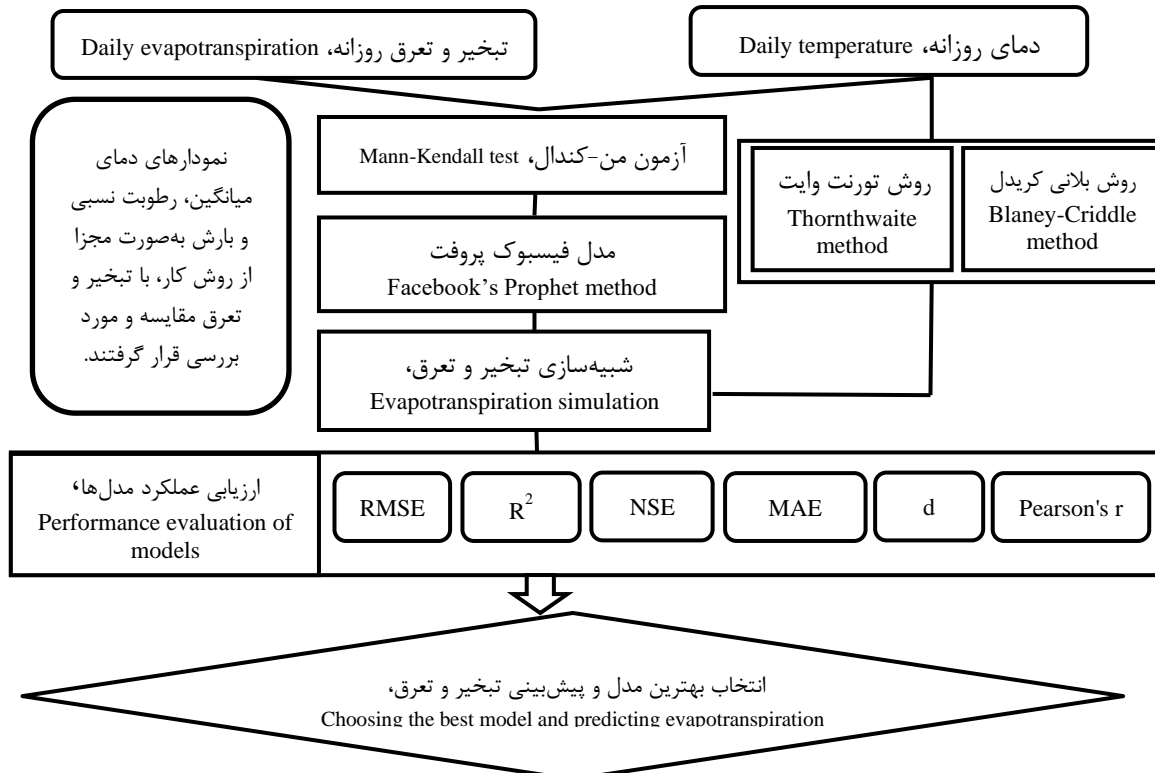
است (Heidari Motlagh et al., 2021). همچنین نمودار جریانی در شکل ۲ ارائه شده است.

۳۹ درجه سانتی گراد می‌باشد. علاوه بر این سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین بین ۲/۸-۹/۱ متر بر ثانیه و میانگین رطوبت نسبی بین ۱۶-۵۵/۵ درصد



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Study area



شکل ۲- فلوچارت روش تحقیق

Figure 2- Flowchart of research method

## روش تحقیق

در این پژوهش داده‌های دما، تبخیر و تعرق، رطوبت نسبی و بارش از ایستگاه هواشناسی شهرستان الشتر برای دوره آماری ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ شمسی (۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ میلادی) اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. باتوجه به اینکه قبل از آنالیز و مدل‌سازی نیاز است داده‌ها از نظر وجود روند بررسی شوند (Allen et al., 2002) با استفاده از آزمون من-کندال، روندهای احتمالی موجود در داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از مدل‌های Facebook's Prophet، Blaney-Criddle و Thornthwaite شبیه‌سازی انجام شد. در ادامه با توجه به ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش‌های مختلف آماری، مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید و پیش‌بینی تبخیر و تعرق انجام شد.

## بررسی روند داده‌ها

بررسی روند علاوه بر مشخص کردن نوسانات طولانی مدت فرایندهای هیدرولوژیکی، دوره تناوب و دیگر خصوصیات آنها را مشخص می‌کند (Sang et al., 2014). از بین آزمون‌های موجود برای بررسی روند ناپارامتری سری‌های زمانی هیدرولوژیکی آزمون من-کندال مناسب‌ترین آزمون برای داده‌های هیدرولوژی که نامتوازن بوده و داده‌های پرت دارند (Hamed, 2008). به همین دلیل، در این تحقیق از آزمون من-کندال که یکی از مزایای مهم آن تشخیص تغییرات ناگهانی روند نسبت به میانگین می‌باشد، استفاده شد. در این آزمون آماره  $u(t)$  مقداری است که معنی‌داری در سطح اطمینان مورد نظر، جهت و بزرگی (کاهش)  $u(t) < 0$  و افزایشی  $u(t) > 0$  روند را مشخص می‌نمایند. روندهای کوتاه‌مدت و نقطه شروع آنها در سری به وسیله نمودارهای سری‌های مقادیر  $u(t)$  و  $u'(t)$  مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرضیه صفر این آزمون  $H_0$  داده‌ها را بدون روند و فرضیه جایگزین یعنی  $H_A$ ، روند

افزایشی یا کاهشی برای داده‌ها فرض می‌کند (Dastaran et al., 2022).

## مدل Facebook's Prophet

این مدل در سال ۲۰۱۷ توسط تیم علم داده شرکت متا (Facebook) توسعه داده شده است (Vishwas & Patel, 2020). از مزایای اصلی مدل Facebook's Prophet سرعت و دقت مناسب آن در پیش‌بینی داده‌ها و نیز حفظ روابط فصلی آنها است (Arslan, 2022). ویژگی‌های این مدل سبب شده است که بتوان به راحتی و بدون دانستن جزئیات پیچیده مدل پایه، آن را مورد استفاده قرار داد (Satrio et al., 2021). طبق گفته مدیران Facebook's Prophet بهترین عملکرد را با سری‌های زمانی دارد که دارای اثرات فصلی و چندین فصل از داده‌های تاریخی است و داده‌های پرت را از داده‌های استاندارد جدا می‌کند. در مدل Facebook's Prophet پیش‌بینی‌ها بر اساس یک مدل افزایشی می‌باشد (Taylor & Letham 2018). مدل Facebook's Prophet اخیراً در پیش‌بینی خشکسالی (Basak et al., 2022)، تخمین تبخیر و تعرق (Rahman et al., 2020) و شبیه‌سازی رواناب استفاده شده است (Xiao et al., 2022). مقایسه مدل Facebook's Prophet و رگرسیون بردار پشتیبان<sup>۲</sup> (SVR) نشان می‌دهد که مدل Facebook's Prophet از انواع SVR عملکرد بهتری دارد (Rahman, et al., 2020). رابطه (۱) مدل Facebook's Prophet را تعریف می‌کند:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + e(t) \quad (1)$$

که در آن  $y(t)$  روند تغییرات سری زمانی،  $g(t)$  روند تغییرات غیر دوره‌ای،  $s(t)$  تغییرات دوره‌های فصلی،  $h(t)$  داده‌های گسسته بیشتر از یک روز (قابلیت تعطیلات) را نشان می‌دهد و  $e(t)$  تغییرات ناگهانی در داده‌ها را نادیده می‌گیرد. تکنیک بر این فرض استوار است که داده‌های سری زمانی را می‌توان به‌عنوان

تبخیر و تعرق را بیش از حد واقعی برآورد می‌کند. از این رو نسخه اصلاح شده روش Thornthwaite (Wilmott) برای زمانی که دمای هوا بالاتر از ۲۶ درجه سانتی‌گراد است ایجاد شده است. اگرچه این مدل در ابتدا با داده‌های ماهانه مورد استفاده قرار گرفته است، اما یک عامل (فاکتور) تصحیح برای اعمال این مدل روی داده‌های روزانه ایجاد شده است. داده ورودی، میانگین دمای هوا ( $T_{mean}$ ) و داده‌های خروجی مدل نیز شامل تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق واقعی (با استفاده از ضرایب گیاهی) هستند. روابط روش Thornthwaite و Thornthwaite اصلاح شده در رابطه (۲) ارائه شده است (Willmott et al., 1985).

$$c = \frac{N}{360}$$

$$\text{If } T_{mean} \leq 0^{\circ}\text{C}$$

$$ETR = 0$$

$$\text{If } 0^{\circ}\text{C} \leq tMEAN \leq 26^{\circ}\text{C}$$

$$ETR = 16C \left( 10^{\frac{T_{mean}}{I}} \right)^a \quad (2)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0.2T_{normal})^{1.514}$$

$$a = 6075 \times 10^{-7} I^3 - 7.711 \times 10^{-5} I^2 + 1.712 \times 10^{-2} I + 0.4^4$$

$$\text{If } T_{mean} > 26^{\circ}\text{C}$$

$$ETR = C(-415.85 + 32.24T_{mean} - 0.43T_{mean}^2)$$

که در آن C: ضریب تصحیح تبدیل مقیاس زمانی ماهانه به روزانه، N: ساعات آفتابی (ساعت)، ETR: تبخیر و تعرق مرجع روزانه (میلی‌متر)،  $T_{mean}$ : میانگین روزانه دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، I: شاخص حرارتی و  $T_{normal}$ : دمای نرمال (درجه سانتی‌گراد) است.

#### روش Blaney-Criddle

روش Blaney-Criddle فقط با استفاده از میانگین دمای هوا، تبخیر و تعرق شبیه‌سازی می‌کند (Hosseini et al., 2016). در این مدل، داده‌ی ورودی میانگین دمای هوا ( $T_{mean}$ ) و داده‌های خروجی نیز شامل تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق واقعی (با استفاده از ضرایب گیاهی) هستند. فرمول روش Blaney-Criddle در رابطه (۳) ارائه شده است.

ترکیبی از ویژگی‌های متعدد مانند روندهای فصلی و غیرفعال توصیف کرد (Rumsey et al., 2017). نیروی ریاضی Facebook's Prophet مستلزم شناسایی و مدل‌سازی این مولفه‌ها با استفاده از تعدادی از روش‌های ریاضی و آماری است:

✓ رگرسیون خطی و سری فوریه برای مدل‌سازی روند یک سری زمانی استفاده می‌شوند.

✓ مدل‌های افزایشی برای توصیف یک سری زمانی غیرفعال استفاده می‌شود.

یک مدل رگرسیون خطی یا غیرخطی اغلب برای کشف و مدل‌سازی هریک از الگوها یا روندهای اساسی در داده‌ها برای روند سری زمانی استفاده می‌شود. Facebook's Prophet مدل مناسبی برای مدیریت داده‌های گم شده<sup>۳</sup> است و داده‌های پرت<sup>۴</sup> را به خوبی از داده‌های استاندارد جدا می‌کند (Dastaran et al., 2022). از توانایی‌های دیگر این مدل شناسایی خودکار روندهای روزانه هفتگی، فصلی و سالانه است. مطالعه منابع نشان می‌دهد که تعداد مقادیر پیش‌بینی مدل Facebook's Prophet می‌تواند بین ۱۵-۲۵ درصد داده‌های اولیه باشد. مهم‌ترین مزیت مدل Facebook's Prophet توانایی در تبدیل داده‌های گسسته به داده‌های پیوسته است تا پیش‌بینی به بهترین شکل انجام پذیرد. این مدل در شناسایی روند فصلی بودن داده‌ها به صورت خودکار عمل می‌کند و در صورت وجود روند، تغییرات فصلی آنها را نمایش می‌دهد (Dastaran et al., 2022).

#### روش Thornthwaite

یک مدل ساده است که در محاسبات خود فقط به میانگین دمای هوا نیاز دارد. تحقیقات و مطالعات قبلی نشان می‌دهد که روش Thornthwaite ممکن است تبخیر و تعرق را در شرایط خشک، کمتر از واقعیت تخمین بزند، در حالی که در مناطق مرطوب استوایی

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (7)$$

$$Pearson's\ r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (8)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (9)$$

در روابط فوق،  $P_i$  مقدار محاسباتی  $O_i$  مقدار مشاهداتی،  $\bar{P}$  مقدار میانگین محاسباتی  $\bar{O}$  مقدار میانگین مشاهداتی و  $n$  تعداد داده‌ها است.

### نتایج و بحث

در این پژوهش روند تغییرات داده‌های تبخیر و تعرق منطقه الشتر؛ بین سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ با استفاده از مدل Facebook's Prophet و همچنین دو روش Blaney-Cridle و Thornthwaite مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا در اولین اقدام، روند داده‌های تبخیر و تعرق با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد. در این آزمون مشاهده می‌شود که  $p\text{-value} = 0/0000004$  می‌باشد که با توجه به اینکه معیار آلفا در این پژوهش  $0/01$  است، پس فرض صفر رد می‌شود و فرض ۱ برقرار است. به این معنی که داده‌ها دارای روند هستند و با توجه به پلات من-کندال داده‌ها (شکل ۳) روند داده‌ها صعودی است و تبخیر و تعرق در طی سالیان مورد پژوهش در حال افزایش می‌باشد که با نتایج Ataei و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. همچنین این نتیجه با نتایج پژوهش Hassanvand و همکاران (۲۰۲۲) نیز مطابقت دارد؛ براساس مطالعه‌ی آن‌ها، در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۹ - ۲۰۱۹) دماهای متوسط، بیشینه و کمینه در شهرستان الشتر دارای روندی افزایشی بود.

$$ETR = p(0.46T_{mean} + 8) \quad (3)$$

که در آن ETR: تبخیر و تعرق مرجع روزانه (میلی‌متر)،  $P$ : درصد میانگین روزانه ساعات آفتابی و  $T_{mean}$ : میانگین روزانه دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) است.

### ارزیابی عملکرد مدل‌ها

با توجه به اینکه در ارزیابی عملکرد مدل‌ها بایستی پارامترهای مختلفی بررسی گردد تا میزان دقت نتایج به‌وضوح مشاهده شود، در این تحقیق از معیارهای میانگین مربعات خطا<sup>۵</sup> (RMSE)، میانگین خطای مطلق<sup>۶</sup> (MAE)، ضریب تعیین<sup>۷</sup> ( $R^2$ ) ضریب نش ساتکلایف<sup>۸</sup> (NSE) ضریب همبستگی پیرسون<sup>۹</sup> (Pearson's r) و شاخص توافق ویلموت<sup>۱۰</sup> ( $d^{11}$ ) استفاده شد. هرچه  $R^2$ ، NSE و  $d$  به عدد یک نزدیک باشند، عملکرد مدل دارای کارایی بالاتری است در این حالت معمولاً مقادیر معیارهای RMSE و MAE به سمت صفر میل می‌کنند (Salas, 1993). ضریب همبستگی پیرسون (Pearson's r) بین -۱ و ۱ می‌باشد. اگر ضریب همبستگی پیرسون برابر ۱ باشد بیانگر رابطه مستقیم کامل بین دو متغیر است. اگر برابر -۱ باشد وجود یک رابطه معکوس کامل بین دو متغیر را نشان می‌دهد. اگر برابر صفر باشد نشان می‌دهد که بین دو متغیر هیچ رابطه خطی وجود ندارد (De Witte, 2022). روابط استفاده شده برای معیارهای ارزیابی به‌صورت روابط ۴ تا ۹ می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

9- Pearson's Correlation Coefficient

10- Willmott's agreement index

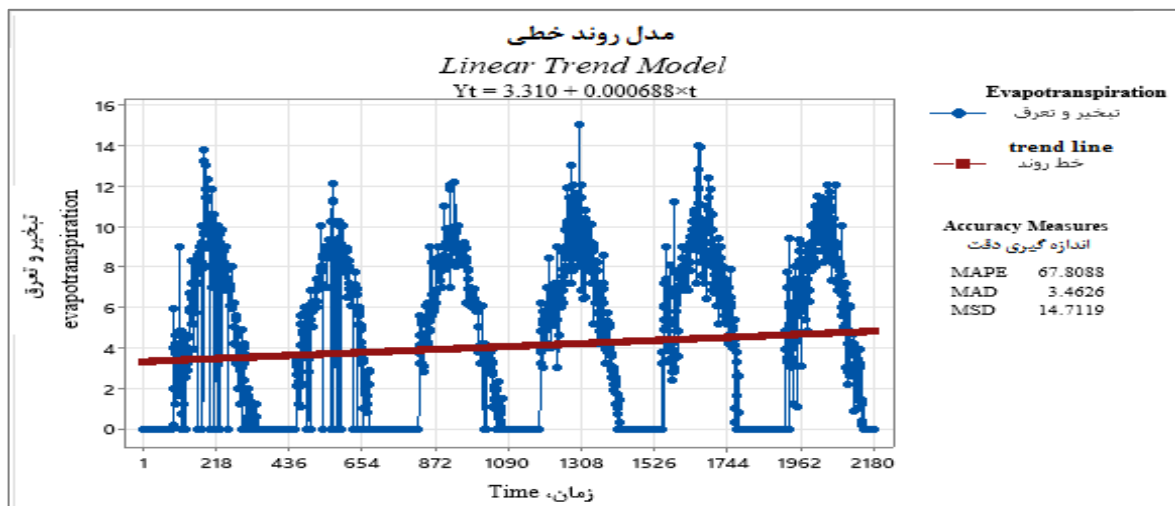
11- Willmott's agreement index

5- Root Mean Square Error

6- Mean Absolute Error

7- R-squared correlation

8- Nash-Sutcliffe Efficiency

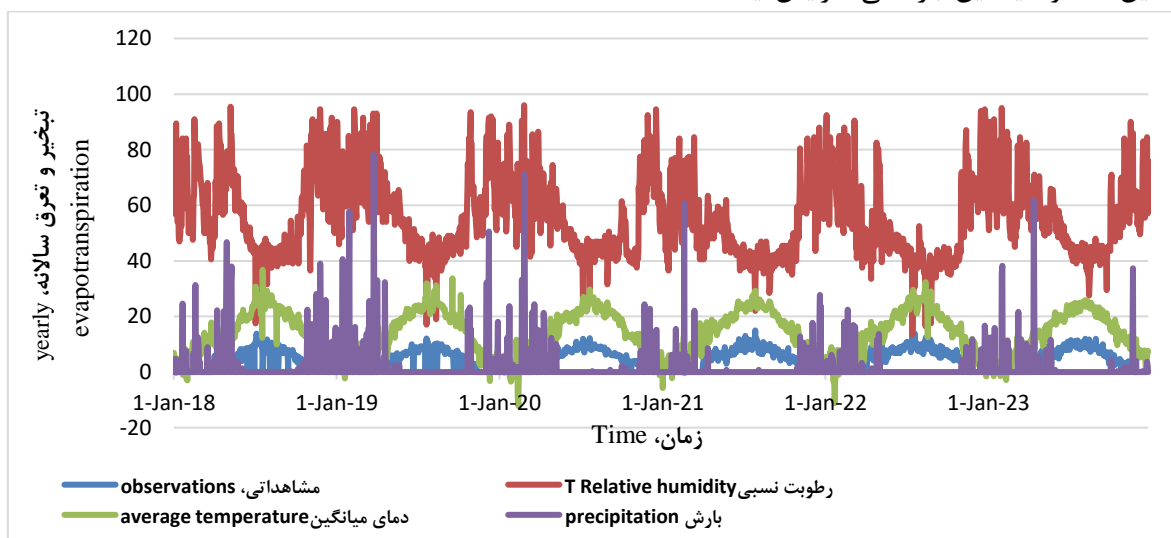


شکل ۳- پلات من-کندال داده‌های تبخیر و تعرق

Figure 3- Mann-Kendall plot of evapotranspiration data

داده‌های دما دارای الگوی فصلی می‌باشند نوسان زیادی در طول سال دارند. لیکن همانطور که مشاهده می‌شود در نهایت افزایش میزان تبخیر و تعرق در منطقه اتفاق افتاده است. ممکن است این نوسانات ناشی از تغییرات اقلیمی باشد. در پژوهش Heydari و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان داده شده است که براساس پیش‌بینی‌های انجام شده با سناریوهای اقلیمی، در منطقه الشتر افزایش در روند افزایشی در میزان بارش وجود دارد، در پژوهش حاضر نیز روند افزایشی بارش نشان داده شده است.

همچنین مقایسه نمودارهای بارش، دمای میانگین و رطوبت میانگین هوا با تبخیر و تعرق واقعی نشان داد که با افزایش بارش تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد، با افزایش دمای میانگین، تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد که با نتایج Taş و Cem Kuzucu (۲۰۲۴) و نیز Ding و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد. علاوه بر این با افزایش رطوبت نسبی هوا، تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد (شکل ۴). براساس شکل (۴) در طی دوره‌ی مورد مطالعه، بارش با نوسان همراه است ولی دمای میانگین و رطوبت میانگین هوا نوسان اندکی دارند. علاوه بر این میانگین دما و میانگین بارندگی افزایش یافته است.



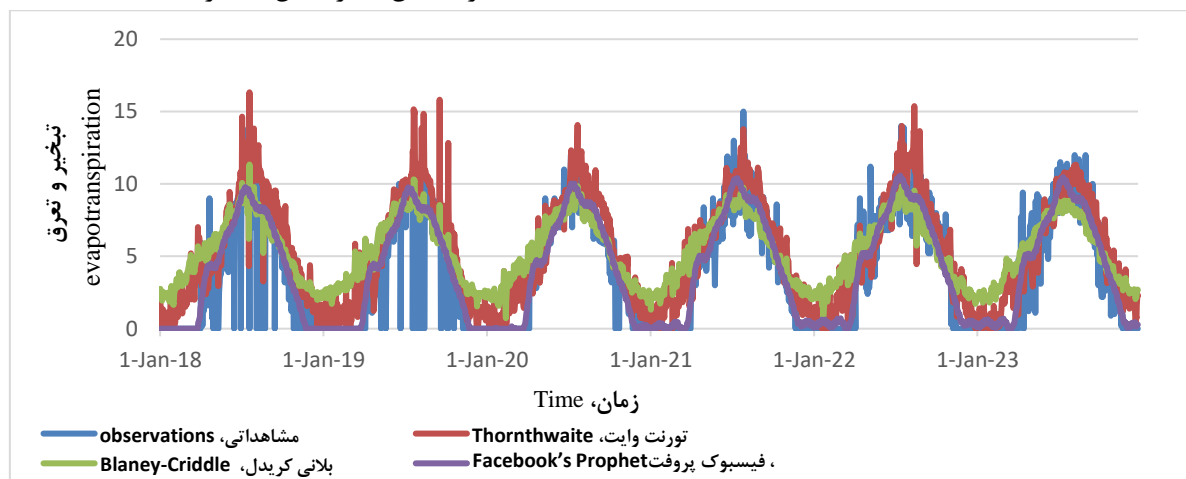
شکل ۴- نمودار ارتباط بین بارش، دمای میانگین و رطوبت نسبی با تبخیر و تعرق

Figure 4- Graph of relationship between precipitation, average temperature and relative humidity with evapotranspiration

### اجرای مدل‌ها

میانگین دما با مقدار  $k$  ثابت  $1/3$ ، در عرض  $50$  درجه، دمای میانگین  $13/1$ ، (دمای آستانه ویلموت  $26$  درجه) و ساعات آفتابی  $12$  ساعته محاسبه شده‌اند. نمودار شبیه‌سازی مدل‌ها در شکل (۵) ارائه شده است.

روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite برای شبیه‌سازی تبخیر و تعرق شهرستان الشتر با معیارهای



شکل ۵- نمودار شبیه‌سازی تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite و مدل Facebook's Prophet

Figure 5- Evapotranspiration simulation diagram using Blaney-Criddle and Thornthwaite methods and Facebook's Prophet model

در ادامه جهت بررسی و انتخاب بهترین مدل جهت پیش‌بینی تبخیر و تعرق شهرستان الشتر از معیارهای ارزیابی که در جدول (۱) ارائه شده‌اند استفاده شد.

براساس شکل (۵)، از بین ۳ مدل مذکور، شبیه‌سازی حاصل از مدل Facebook's Prophet به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر بود.

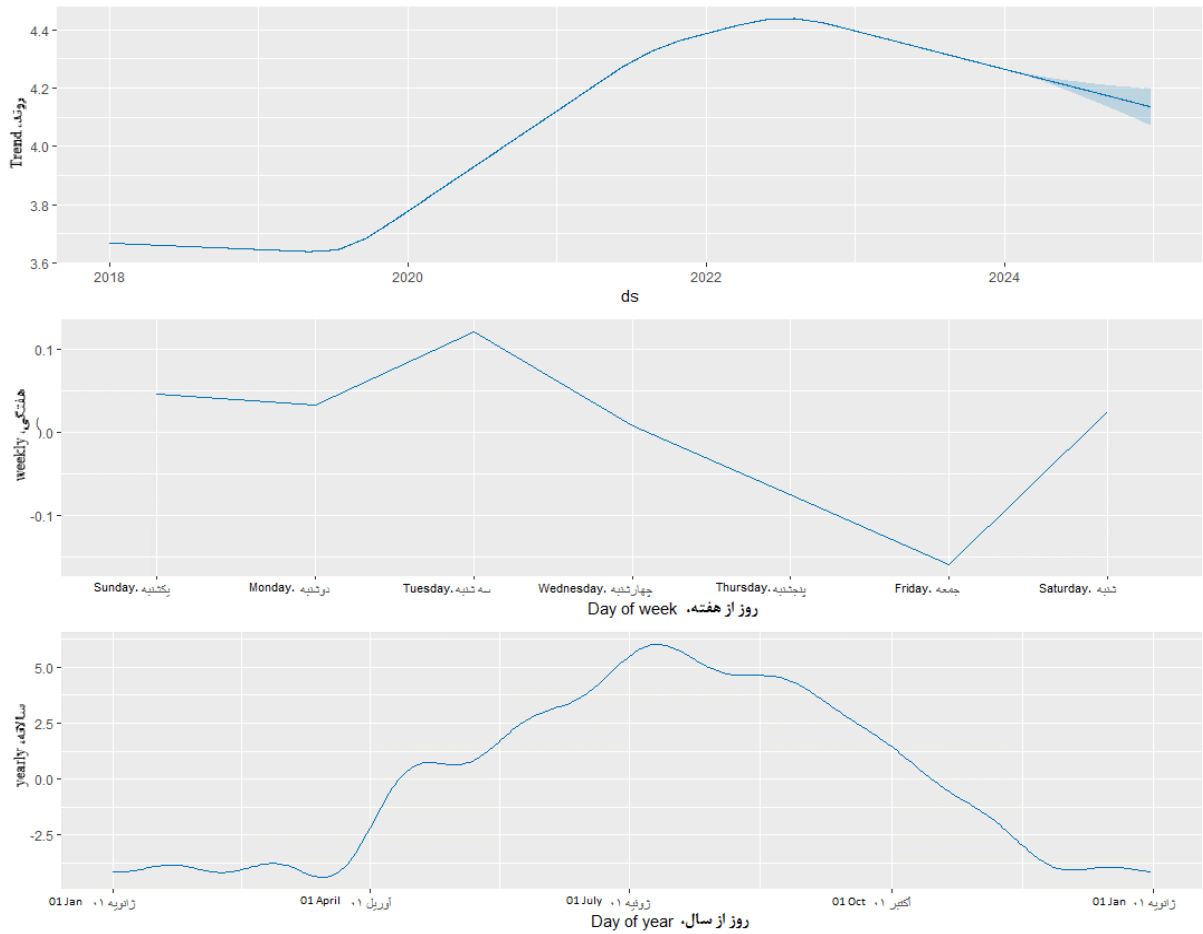
#### جدول ۱- ارزیابی عملکرد جهت انتخاب مناسب‌ترین مدل

Table 1- Evaluating the performance to choose the most suitable model

معیار ارزیابی Evaluation criteria	تورنت وایت Thornthwaite	بلانی کریدل Blaney-Criddle	فیسبوک پروفیت Facebook's Prophet
$R^2$	0.784	0.79	0.88
RMSE	2.16	2.43	1.33
MAE	1.58	1.98	0.791
NSE	0.639	0.14	0.88
Pearson's r	0.886	0.889	0.939
d	0.913	0.841	0.967

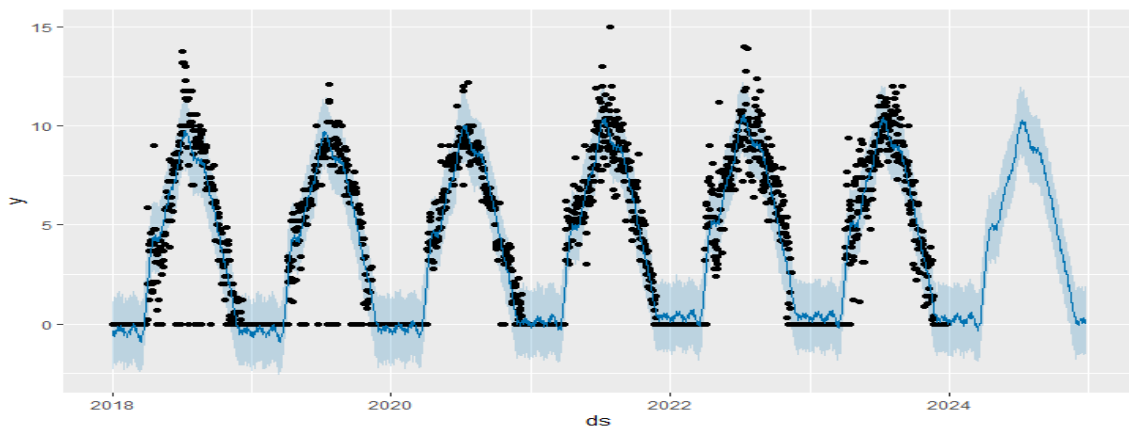
سیاه نشان دهنده‌ی مقادیر اصلی تبخیر هستند و فقط تا سال  $2024$  دیده می‌شوند. پس از آن، مقادیر تبخیر که با استفاده از مدل پیش‌بینی شده‌اند مشاهده می‌شوند. لذا ناحیه آبی‌رنگ حاکی از مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد و نواحی بالا و پایین آن نیز که آبی کم‌رنگ هستند، به صورت تقریبی حد بالا و حد پایین را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از این نمودار نشان دهنده‌ی افزایش روند تبخیر و تعرق در سال‌های آینده در الشتر می‌باشد.

با توجه به جدول (۱) مشاهده شد که مدل Facebook's Prophet بهترین نتایج را ارائه می‌کند. بر اساس نتایج، با توجه به میزان دقت مناسب مدل Facebook's Prophet، پیش‌بینی تبخیر و تعرق شهرستان الشتر با استفاده از این مدل انجام شد. از قابلیت‌های مدل Facebook's Prophet شناسایی روند به صورت روزانه هفتگی، فصلی و سالانه است. در شکل (۶) نمودار هفتگی، ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق شهرستان الشتر ارائه شده است. در شکل (۷) نقاط



شکل ۶- نمودار روزانه، هفتگی و سالانه و محدوده پیش‌بینی مدل Facebook's Prophet

Figure 6- Daily, weekly and yearly charts and forecast range of Facebook's Prophet model



شکل ۷- نمودار شبیه‌سازی و پیش‌بینی مدل Facebook's Prophet

Figure 7- Simulated and predicted chart of Facebook's Prophet model

میلی متر می‌باشد و میانگین داده‌های مشاهداتی تبخیر و تعرق نیز برابر با ۴/۰۶ میلی‌متر است. مدل Prophet Facebook's نزدیک‌ترین شبیه‌سازی تبخیر و تعرق را نسبت به مقادیر مشاهداتی تبخیر و

نتایج نشان داد که میانگین تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle, Thornthwaite و مدل Facebook's Prophet در طی دوره آماری به ترتیب برابر با ۵/۲۸، ۵/۲۶ و ۴/۱۱

پارامترهای هواشناسی در دوره‌های مختلف زمانی، تأثیر زیادی در تحلیل مناسب تغییرات اقلیمی دارند. در منطقه مورد مطالعه بیشترین تغییرات فصلی در دو فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد چراکه در این فصل‌ها بادهای غربی رطوبت اقیانوس اطلس و دریایی مدیترانه را گرفته و به منطقه زاگرس میانی وارد می‌شود. (Hassanvand *et al.*, 2022). بنابراین در شهرستان الشتر نیز که در شمال استان لرستان واقع شده و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۵۶۷ متر و ۱۵ سانتیمتر است کاهش دما مشاهده می‌شود.

در فصل تابستان بادهای غربی غیرفعال هستند (Hassanvand *et al.*, 2022)، بنابراین افزایش دما و افزایش تبخیر وجود دارد. لذا مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش روند صعودی تبخیر و تعرق در منطقه الشتر را نشان دادند.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به بررسی روند داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال، مشخص شد که داده‌ها در بازه زمانی مورد بررسی (۱۴۰۲-۱۳۹۶) دارای روند افزایشی هستند، به این معنی که تبخیر و تعرق در حال افزایش است. در این پژوهش مقادیر داده‌های تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های Blaney-Criddle، Thornthwaite و مدل Facebook's Prophet شبیه‌سازی شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل Facebook's Prophet با داشتن آماره‌های دقت بهتر نسبت به سایر مدل‌ها ( $R^2=0/88$ ،  $RMSE=1/33$ ،  $MAE=0/791$ ،  $d=0/88$ ،  $NSE=0/939$ ،  $Pearson's\ r=0/967$ )، شبیه‌سازی تبخیر و تعرق را انجام داده است. همچنین روش‌های Blaney-Criddle و Thornthwaite به ترتیب با میزان دقت کمتر و نتایج نزدیک به هم شبیه‌سازی را انجام داده‌اند. بر این اساس از مدل Facebook's Prophet جهت پیش‌بینی یک‌ساله تبخیر و تعرق استفاده شد. این مدل، تبخیر و تعرق منطقه الشتر را با دقت مناسبی شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرد. می‌توان از نتایج حاصل از این پژوهش، با هدف برنامه‌ریزی برای

تعرق انجام داد. آزمون من-کندال نشان داد که روند داده‌ها صعودی است و تبخیر و تعرق در طول دوره آماری در حال افزایش می‌باشد. علاوه بر این براساس شکل (۵)، سری زمانی مشاهده شده در روش Blaney-Criddle و مدل Facebook's Prophet از روند تغییرات تقریباً منظمی برخوردارند در حالی که در روش Thornthwaite داده‌های تبخیر و تعرق در طول سری زمانی روند نامنظمی دارند.

در پژوهش حاضر مدل Facebook's Prophet بیشترین دقت را در پیش‌بینی و شبیه‌سازی تبخیر و تعرق دارا بود. براساس نتایج مدل Facebook's Prophet، تبخیر و تعرق در ماه‌های خشک سال از اوایل تیرماه تا اوایل مهرماه بیشترین حد خود را داشته است و در ماه‌های سرد سال مانند دی‌ماه، بهمن‌ماه و اسفندماه دارای پایین‌ترین حد خود بودند. همچنین، بر اساس بررسی هفتگی، در روز سه‌شنبه بیشترین و در روز جمعه کمترین تبخیر و تعرق بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ اتفاق افتاده است. نتایج این پژوهش از لحاظ بالاتر بودن میزان دقت مدل Facebook's Prophet برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی، با نتایج Rahman و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. Ramezani و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود نشان دادند که با توجه به معیارهای ارزیابی، روش Thornthwaite دارای دقت پایینی در برآورد تبخیر و تعرق است، لیکن در نتایج Shahedi و Zarei (۲۰۱۱) دقت روش Blaney-Criddle بالاتر از Thornthwaite بود. در مطالعه حاضر روش Thornthwaite نسبت به Blaney-Criddle از دقت بالاتری برخوردار بود. علاوه بر این، همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، روش Thornthwaite تبخیر و تعرق را بیشتر از حد معمول تخمین زد که با نتایج پژوهش Rahman و همکاران (۲۰۲۰) همچنین Adesogan و Sasanya (۲۰۲۳) مطابقت دارد.

مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق منابع آبی به دلیل کاهش منابع آب بسیار حائز اهمیت است. بررسی تغییرات

مطالعات آتی، علاوه بر تبخیر و تعرق و تحلیل حساسیت پارامترهای موثر برای پیش‌بینی سری زمانی سایر عوامل اقلیمی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

استفاده بهینه از منابع آب استفاده کرد. علاوه بر این پیشنهاد می‌شود، با توجه به دقت مناسب مدل Facebook's Prophet در انجام پیش‌بینی، در

## References

- Abdelraouf, R. E., El-Shawadfy, M. A., Bakry, A. B., Abdelaal, H. K., El-Shirbeny, M. A., Ragab, R., & Belopukhov, S. L. (2024). *Estimating ETO and scheduling crop irrigation using Blaney-Criddle equation when only air-temperature data are available and solving the issue of missing meteorological data in Egypt*. In BIO Web of Conferences (Vol. 82, p. 02020). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248202020>
- Adesogan, S. O., & Sasanya, B. F. (2023). Efficiency of indirect and estimated evapotranspiration methods in South Western Nigeria. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 15(1), 64-77. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2021.10041388>
- Allen, R. G., Bastiaanssen, W., Wright, J. L., Morse, A., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Evapotranspiration from satellite images for water management and hydrologic balances. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 380-394. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380))
- Amouzegari, P., Panahi, M., Mirnia, S. K., & Daneshi, A. (2020). Estimation of preservation value of groundwater resources from the villagers' perspective in Alashtar Watershed, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 12(1), 57-71. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.122994.1532> (In Persian)
- Arslan, S. (2022). A hybrid forecasting model using LSTM and Prophet for energy consumption with decomposition of time series data. *PeerJ Computer Science*, 8, e1001. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1001>
- Ataei, H., Tashakori Hashemi, S. A., & Raveian, M. (2020). Analysis of the trend of evapotranspiration of reference crop at synoptic stations of Khorasan Razavi province. *Journal of Climate Research*, 1398(38), 113-129. (In Persian)
- Basak, A., Rahman, A. S., Das, J., Hosono, T., & Kisi, O. (2022). Drought forecasting using the Prophet model in a semi-arid climate region of western India. *Hydrological Sciences Journal*, 67(9), 1397-1417. <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2082876>
- Blaney, H. F. (1952). *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*. Washington Soil Conservation Service, 48.
- Brouwer, C., & Heibloem, M. (1986). Irrigation water management: irrigation water needs. *Training manual*, 3, 1-5.
- Cem Kuzucu, F., & Taş, İ. (2024). Comparison of Evapotranspiration Values Calculated with Empirical Methods and ETgage Measurements. *environmental and earth sciences*. *Preprints*. Online: 11 April 2024: 1-11. <https://doi.org/10.20944/preprints202404.0790.v1>
- Dastaran, M., Jafari, S., Moslemi, H., Attarchi, S., & Alavipanah, S.K. (2022). Monitoring Bakhtegan wetland using a time series of satellite data on the Google Earth Engine platform and predicting parameters with Facebook's Prophet model. *RS & GIS for Natural Resources*, 13(4), 1-20. <https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.685454> (In Persian)
- De Witte, C. (2022). *Altering functional connectivity in the brain by learning new associations*. BSc-Thesis. Artificial Intelligence. Radboud University.
- Ding, L., Yu, Y., & Zhang, S. (2024). Trend Projections of Potential Evapotranspiration in Yangtze River Delta and the Uncertainty. *Atmosphere*, 15(3), 357. <https://doi.org/10.3390/atmos15030357>
- Elagib, N. A., Ali, M. M., & Schneider, K. (2024). Evaluation and bias correction of CRU TS4. 05 potential evapotranspiration across vast environments with limited data. *Atmospheric Research*, 299, 107194.

- <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107194>
- Gharbia, S. S., Smullen, T., Gill, L., Johnston, P., & Pilla, F. (2018). Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections. *Science of The Total Environment*, 633, 571-592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.208>
- Granger, R. J. (2000). Satellite-derived estimates of evapotranspiration in the Gediz basin. *Journal of Hydrology*, 229(1-2), 70-76. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00200-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00200-0)
- Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- Haris, M. D., Adytia, D., & Ramadhan, A. W. (2022). Air temperature forecasting with long short-term memory and prophet: a case study of Jakarta, Indonesia. In *2022 International Conference on data science and its applications (ICoDSA)* (pp. 251-256). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICoDSA55874.2022.9862869>
- Hassanvand, M., Borna, R., Zohurian Pardel, M., & Shakiba, A. (2022). Study and evaluation of temperature in Aleshtar city based on artificial neural network model. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 11(41), 155-170. (In Persian)
- Heidari Motlagh, A., Nasrolahi, A., Sharifipour, M., & Veysi, S. (2021). Evaluation of Different Models for Estimating Reference Evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) in Aleshtar Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(5), 1409-1421. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.319027.668894>
- Heydari, S., Bromand, S., Zeinali, B., & Pourghasemi, E. (2024). Precipitation Forecast of Three Stations of Lorestan Province in the Next 20 Years. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(1), 7963-7976. <https://doi.org/10.22034/jes.s.2023.394271.2014>
- Hosseini, S. M., Ganji Khorramdel, N., Kheltabadi Farahani, A. H. (2016). Empirical and intelligence Models Evaluation in Estimation of Reference Evapotranspiration by Minimum Climate Data; case study shahrekord, *Irrigation and Water Engineering*, 7(1), pp. 128-141.
- Le Houérou, H. N. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of arid Environments*, 34(2), 133-185. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0099>
- Liu, S., Bai, J., Jia, Z., Jia, L., Zhou, H., & Lu, L. (2010). Estimation of evapotranspiration in the Mu Us Sandland of China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(3), 573-584. <https://doi.org/10.5194/hess-14-573-2010>
- Mobasheri, M., Khavarian, H., Ziaian, P., & Kamali, G. (2005). *Estimation of real evaporation and transpiration using MODIS images and Sabal algorithm*. 84th Geomatic Conference, Tehran. 1-12. (In Persian)
- Oo, Z. Z., & Phyu, S. (2020). Time series prediction based on Facebook Prophet: a case study, temperature forecasting in Myintkyina. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 8(4), 263-267. <https://doi.org/10.18100/ijamec.816894>
- Pour Yazdankhah, H., Razavipour, T., Khaledian, M., & Rezaei, M. (2013). *Determining the appropriate methods to estimate reference evaporation and transpiration in Rasht region*. The third national conference on comprehensive management of water resources, Sari (In Persian)
- Rahman, A. S., Hosono, T., Kisi, O., Dennis, B., & Imon, A. R. (2020). A minimalistic approach for evapotranspiration estimation using the Prophet model. *Hydrological Sciences Journal*, 65(12), 1994-2006. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1787416>
- Ramezani, M., Islamian, S.S., Aghakhani, A., & Mirzaei, S.M.J. (2015). *Selection of the best real evaporation and transpiration equation through lysimetry data*. National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. 1-8 (In Persian)
- Rumsey, C. A., Miller, M. P., Schwarz, G. E., Hirsch, R. M., & Susong, D. D. (2017). The role of baseflow in dissolved solids delivery to streams in the Upper Colorado River Basin. *Hydrological Processes*, 31(26), 4705-4718. <https://doi.org/10.1002/hyp.13647>
- Salas, J. D. (1993). Analysis and modelling of hydrological time series. *Handbook of*

- hydrology*, McGraw-Hill, New York, 19.1-19.72.
- Sang, Y. F., Wang, Z., & Liu, C. (2014). Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time series. *Journal of Hydrology*, 510, 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.039>
- Sarıgöl, M., & Katipoğlu, O.M., (2024). Estimation of monthly evaporation values using gradient boosting machines and mode decomposition techniques in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Acta Geophysica*, 72(2), pp.999-1016. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01067-8>
- Satrio, C. B. A., Darmawan, W., Nadia, B. U., & Hanafiah, N. (2021). Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROPHET. *Procedia Computer Science*, 179, 524-532. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.036>
- Shabani, M., Asadi, M. A., & Fathian, H. (2024). Improving the daily pan evaporation estimation of long short-term memory and support vector regression models by using the Wild Horse Optimizer algorithm. *Water Supply*, 24(4), 1315-1334. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.063>
- Shahedi, K., & Zarei, M. (2011). Assessment of potential evapotranspiration estimation methods in Mazandaran Province. *Irrigation and Water Engineering*, 1(3), 12-21. (In Persian)
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1), 37-45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>
- Thiyagarajan, K., Kodagoda, S., Ulapane, N., & Prasad, M. (2020). A temporal forecasting driven approach using facebook's prophet method for anomaly detection in sewer air temperature sensor system. In *2020 15th IEEE Conference on industrial electronics and applications (ICIEA)* (pp. 25-30). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248142>
- Vishwas, B. V., & Patel, A. (2020). Hands-on Time Series Analysis with Python. *From Basics to Bleeding Edge Techniques*. Berkeley, CA: Apress. (xvii, 407 pages). <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5992-4>
- Wang, J., Cao, X., Cui, X., Wang, H., Zhang, H., Wang, K., Li, X., Li, Z., & Zhou, Y. (2024). Recent advances of green electricity generation: potential in solar interfacial evaporation system. *Advanced Materials*, 36(16), 2311151. <https://doi.org/10.1002/adma.202311151>
- Willmott, C. J., Rowe, C. M., & Mintz, Y. (1985). Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. *Journal of Climatology*, 5(6), 589-606. <https://doi.org/10.1002/joc.3370050602>
- Xiao, Q., Zhou, L., Xiang, X., Liu, L., Liu, X., Li, X., & Ao, T. (2022). Integration of hydrological model and time series model for improving the runoff simulation: a case study on BTOP model in Zhou River Basin, China. *Applied Sciences*, 12(14), 6883. <https://doi.org/10.3390/app12146883>

## Zoning forest fire risk in semi-arid oak forests of Zagros using fuzzy hierarchical model (FAHP)

Negin Bozorgmehr, Katayoon Varshosaz\*, Sina Attarroshan, Soolmaz Dashti, Neda Orak

Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

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

(Received: 16 August 2024

Revised: 24 September 2024

Accepted: 16 October 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** Today, the phenomenon of forest fires threatens much of the world's forests and the livelihoods of local people. Fire is the main cause of disturbances in forest ecosystems around the world. The results of some studies have shown that various ecological and climatic factors have led to changes in the extent and intensity of forest fire. By reviewing past studies, it can be said that in most of these cases, various environmental factors are used to evaluate fire risk potential, and most of them use the AHP to weigh these indices and emphasize assigning appropriate weight to environmental variables. Hence, a model that provides good results by assigning appropriate weight to the environmental variables effective on the occurrence of fire is very important. Therefore, this study aimed to identify the more critical areas threatened by fire which can be an effective help in controlling and managing future burns.

**Materials and methods:** Dehdez is in a mountainous area of the Zagros. This area with an approximate area of 1480 km<sup>2</sup> has a population of more than 19351 people who live in 147 villages. For this study the fire statistics from 2011 to 2021 were prepared by Natural Resources and Watershed Management institute of Khuzestan Province. Then by field measurement, the range of the areas that had the largest fire and frequency was registered, and its digital map was prepared. The recorded points were placed on the fire risk potential map based on FAHP. The inverse distance weighed interpolation method was used by GIS to prepare a digital map of climate data. The map related to these factors was classified and their final map was prepared. Based on the research and as much as possible, all the factors affecting the fires in the study area, including 12 factors of height above sea level, slope, direction, land use/land cover, average annual rainfall, average maximum monthly temperature, density of population centers, distance from roads, distance from water resources, distance from agricultural fields and gardens, wind speed and vegetation type of the area were considered.

**Results and Discussion:** The results showed that the man-made criterion with a weight of 0.7869 is in the priority, the climatic criterion with a weight of 0.1044 is in the second priority, the ecological criterion is in the third priority with a weight of 0.0896, and the topographic criterion is in the fourth priority with a weight of 0.0191. The prioritization of topographic sub-criteria showed that the slope percentage (0.5644) is preferable to other sub-criteria. Among the man-made sub-criteria, it was also found that the distance from agricultural land (0.62), among the climatic sub-criteria, average precipitation (0.5238) and in the examination of the ecological sub-criteria, it was also found that the forest density (0.8562) compared to other Sub-criteria are preferred. Finally, the area studied has a high potential for fire, as per the map prepared, 69.94% of the area is under high and very high fire risk.

**Conclusions:** The risk of fire threatens forests, Rangeland, agricultural lands, and other uses in the region, so the map obtained can be used as a guide for fire management in areas with high risk and density of forces and facilities in these areas. Designing, constructing, and forecasting installing warning signs in the region, organizing people's visits of the forest, and expanding the quality and quantity of the created resorts are effective measures to control the destructive phenomenon of forest fire. Given the great effect of land use on forest fires in the region, it is suggested that the constructions and the change in land use from forest use to agricultural use receive more attention from the relevant Institutes, especially the Natural Resources Institute. Also, it is suggested to hold training classes for the villagers and firemen to teach how to put out the fire and use the fire extinguishers correctly and quickly, carry out social forestry activities with the help of villagers and forest dwellers for preventing the occurrence and spread of fire.

**Keywords:** Geographic information system, Risk classification, Fire, Dehdez, Khuzestan.

Citation: Bozorgmehr, N., Varshosaz, K., Attarroshan, S., Dashti, S., & Orak, N. (2025). Zoning forest fire risk in semi-arid oak forests of Zagros using fuzzy hierarchical model (FAHP). *Integrated Watershed Management*, 5(1), 112-128. doi: 10.22034/iwm.2024.2038521.1171

### 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>).



# پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جنگل‌های نیمه‌خشک بلوط زاگرس

نگین بزرگمهر، کتابون ورشوساز\*، سینا عطارروشن، سولماز دشتی، ندا اورک

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

## چکیده مبسوط

**مقدمه:** امروزه آتش‌سوزی جنگل‌ها بخش بزرگی از جنگل‌های جهان و زندگی ساکنان را تهدید کرده است. آتش‌سوزی عامل اصلی اختلال در اکوسیستم‌های جنگلی در سراسر جهان است. نتایج برخی از مطالعات نشان داده است که عوامل مختلف اکولوژیکی و اقلیمی منجر به تغییر در وسعت و شدت آتش‌سوزی جنگل‌ها شده است. با مروری بر مطالعات گذشته می‌توان گفت که در اغلب این موارد از عوامل محیطی مختلفی برای ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی استفاده می‌شود و بیشتر آنها از AHP برای وزن‌دهی این شاخص‌ها استفاده می‌کنند و بر تعیین وزن مناسب به متغیرهای محیطی تأکید دارند. از این رو، مدلی که با تخصیص وزن مناسب به متغیرهای محیطی مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی، نتایج خوبی را ارائه دهد، بسیار مهم است. بنابراین، این مطالعه با هدف شناسایی مناطق بحرانی در معرض خطر آتش‌سوزی انجام شد که می‌تواند کمک مؤثری در کنترل و مدیریت آتش‌سوزی‌های آینده باشد.

**مواد و روش‌ها:** منطقه‌ی دهدز، در استان خوزستان در منطقه‌ی کوهستانی از سلسله جبال زاگرس واقع شده است که از شمال شرقی به استان چهارمحال و بختیاری از جنوب شرقی به استان کهگیلویه و بویراحمد از غرب و شمال غربی به شهرستان ایذه و از جنوب به شهرستان باغملک محدود می‌شود. این منطقه با مساحت تقریبی ۱۴۸۰ کیلومتر مربع بیش از ۱۹۳۵۱ نفر جمعیت دارد که در ۳ دهستان (دهدز، دنباله‌رود شمالی و دنباله‌رود جنوبی) متشکل از ۱۴۷ روستا، زندگی می‌کنند. به منظور انجام این مطالعه آمار آتش‌سوزی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ از یگان حفاظت از منابع طبیعی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان تهیه و سپس با پیمایش زمینی، محدوده و مساحت مناطقی که دارای بیشترین وسعت آتش‌سوزی و تکرار بودند ثبت شد و نقشه رقمی آن تهیه شد. سپس نقاط ثبت شده بر روی نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی قرار داده شد. برای تهیه نقشه رقمی داده‌های اقلیمی، از روش درون‌یابی IDW در GIS استفاده شد. سپس نقشه مربوط به این عوامل طبقه‌بندی شده و نقشه نهایی آنها تهیه شد. بر اساس تحقیقات انجام شده و در حد امکان، تمام عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی‌های منطقه مورد مطالعه شامل ۱۲ عامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، کاربری اراضی/ پوشش زمین، متوسط بارش سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، تراکم مراکز جمعیت، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراه‌ها، فاصله از زمین‌های کشاورزی و باغات، سرعت باد و تیپ پوشش گیاهی منطقه در نظر گرفته شدند.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که معیار انسان‌ساخت با وزن ۰/۷۸۶۹ و درجه اول، معیار اقلیمی با وزن ۰/۱۰۴۴ و درجه دوم، معیار اکولوژیکی با وزن ۰/۰۸۹۶ و درجه سوم و معیار توپوگرافی با وزن ۰/۰۱۹۱ و درجه چهارم اهمیت قرار دارند. اولویت‌بندی زیرمعیارهای توپوگرافی نشان داد که درصد شیب (۰/۵۶۴۴) نسبت به سایر زیرمعیارها ارجحیت دارد. در بین زیرمعیارهای انسان‌ساخت نیز مشخص شد که فاصله از زمین‌های کشاورزی (۰/۰۶۲)، در بین زیرمعیارهای اقلیمی هم میانگین بارش (۰/۵۲۳۸) و در بررسی زیرمعیارهای اکولوژیکی هم مشخص شد که تراکم جنگل (۰/۱۸۵۶۲) نسبت به سایر زیرمعیارها دارای ارجحیت است. در نهایت منطقه مورد مطالعه پتانسیل زیادی برای آتش‌سوزی دارد به ترتیبی که بر اساس نقشه تهیه شده، ۶۹/۹۴ درصد منطقه تحت خطر آتش‌سوزی زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

**نتیجه‌گیری:** خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها، مراتع، اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌های منطقه را تهدید می‌کند، بنابراین نقشه به‌دست‌آمده می‌تواند به عنوان راهنمای مدیریت آتش‌سوزی در مناطق با خطر و تراکم نیروها و امکانات بالا در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. طراحی، ساخت و پیش‌بینی نصب علائم هشداردهنده در منطقه، ساماندهی بازدید مردم از جنگل و گسترش کمی و کیفی تفرجگاه‌های ایجاد شده از اقدامات مؤثر در کنترل پدیده مخرب آتش‌سوزی جنگل‌ها است. با توجه به تأثیر زیاد کاربری اراضی در آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه، پیشنهاد می‌شود ساخت و سازها و تغییر کاربری اراضی از کاربری جنگلی به کاربری کشاورزی بیشتر مورد توجه مؤسسات مربوطه به ویژه مؤسسه منابع طبیعی قرار گیرد. همچنین برگزاری کلاس‌های آموزشی برای روستاییان و آتش‌نشانان جهت آموزش اطفاء حریق و استفاده صحیح و سریع از کپسول‌های آتش‌نشانی، انجام فعالیت‌های جنگلداری اجتماعی با کمک روستائیان و جنگل‌نشینان جهت پیشگیری از وقوع و گسترش آن پیشنهاد می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم اطلاعات جغرافیایی، طبقه‌بندی ریسک، آتش‌سوزی، دهدز، خوزستان.

**استناد:** بزرگمهر، ن.، ورشوساز، ن.، عطارروشن، س.، دشتی، س. و اورک، ن. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جنگل‌های نیمه‌خشک بلوط زاگرس. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۱۲۸-۱۱۲.

## 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

جنگل اکوسیستمی پیچیده و پویاست و هر کدام از اجزای تشکیل‌دهنده آن دارای نقش اکولوژیکی هستند که باعث تعادل و خودتنظیمی اکوسیستم شده و بقای آن را موجب می‌شوند. اگر یک عامل مخرب طبیعی یا مصنوعی بر اکوسیستم اثر بگذارد باعث از بین رفتن تعادل اکوسیستم شده و رفته رفته اکوسیستم به سمت نابودی پیش می‌رود (Janbaz Ghobadi, 2019). امروزه پدیده آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی، بخش وسیعی از جنگل‌های جهان و زندگی ساکنین را مورد تهدید قرار داده است. این پدیده سالانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه خود می‌سازد (Miller & Ager, 2013). آتش‌سوزی‌ها عامل اصلی اختلالات در اکوسیستم‌های جنگلی در سراسر جهان هستند (Hallema et al., 2018; Moradizadeh et al., 2021; Jhariya and Singh, 2021). بسیاری از عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک و پوشش گیاهی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند (Heydari et al., 2016; Sazawa et al., 2018). آتش‌سوزی در جنگل نه تنها باعث نابودی پوشش گیاهی در منطقه دچار آتش‌سوزی می‌شود، بلکه باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای هیدرولوژیکی، افزایش فرسایش خاک و رواناب تولیدی این مناطق می‌شود (Vadrevu and Lasko, 2015; Salehipour et al., 2023). آتش‌سوزی جنگل یک بحران زیست‌محیطی محسوب شده که فرایندهای تخریب و بیابان‌زایی را گسترش می‌دهد (Girardin et al., 2006). خطر آتش‌سوزی، ترکیبی از دو واژه خطر آتش‌سوزی (احتمال شروع و گسترش آن) و آسیب‌پذیری ناشی از آتش‌سوزی (پیامد یا نتیجه آتش‌سوزی) است. خطر آتش‌سوزی، به وجود ماده سوختنی و حساسیت‌پذیری آن به سوختن و حضور عوامل خارجی (چه انسانی و چه طبیعی) بستگی دارد (Girardin et al., 2006). به علاوه خطر آتش‌سوزی به معنای ارزیابی عوامل ثابت (ماده سوختنی، حرارت و اکسیژن) و متغیر محیط

آتش‌سوزی (اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و غیره) است که سهولت احتراق، سرعت گسترش، دشواری کنترل و اثرات آتش‌سوزی‌های مهیب را تعیین می‌کند (Taylor & Alexander, 2006). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که عوامل مختلف اکولوژیکی و اقلیمی منجر به تغییر وسعت و شدت آتش‌سوزی در جنگل‌ها شده‌اند (Valdez et al., 2023b; Salehi et al., 2017). خصوصیات پوشش گیاهی ایران از مهم‌ترین عوامل زیست‌شناختی مؤثر در شروع و توسعه آتش‌سوزی جنگل محسوب می‌شود. از این نظر که میزان تراکم و نوع گونه، لاشبرگ و مقدار رطوبت ماده سوختی در وقوع آتش‌سوزی تأثیر دارد. عوامل توپوگرافی از قبیل شیب، جهت و ارتفاع نیز از عوامل مهم دیگر در وقوع و گسترش آتش‌سوزی هستند (Valdez, et al., 2017; Heydari et al., 2021). بطور کلی، بیشترین آتش‌سوزی‌ها در مناطقی اتفاق می‌افتد که دسترسی انسان به آن‌ها بیشتر است. به‌عبارت‌دیگر، مناطقی با شیب مناسب و ارتفاع کم، بیشترین خطر آتش‌سوزی در جنگل را دارند (Gerdzheva, 2014). علی‌رغم تعدد عوامل مؤثر در بروز آتش‌سوزی، وقوع آن در یک منطقه به‌طور معمول بر اساس الگوهای زمانی و مکانی منظم ایجاد می‌شود که امکان مدل‌سازی آن‌ها را فراهم می‌کند (Semeraro et al., 2016). با توجه به مطالب یادشده، پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی به عنوان یک پیش‌نیاز برای مدیریت مؤثر و علمی آتش‌سوزی جنگل محسوب می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، پیش‌بینی مکانی احتمال وقوع و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی، امکان مدیریت بهتر آتش‌سوزی جنگل را فراهم می‌کند (Lozano et al., 2008). طی سال‌های اخیر سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌از‌دور امکانات و ابزارهای دقیق‌تری را در اختیار پژوهشگران و مدیران قرار داده تا آتش‌سوزی در جنگل‌ها را از جنبه‌های متعدد مورد بررسی قرار دهند (Zarkar et al., 2013). استفاده از مدل‌سازی به انضمام در نظر گرفتن مؤثرترین عوامل

(نظیر توپوگرافی، انسان ساخت، اقلیمی، اکولوژیکی و ...) با اختصاص وزن مناسب به آنها به کمک روش‌های هوشمند همانند تهیه نقشه‌های خطر در نرم افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند ابزاری مناسب برای مدیران و دست‌اندرکاران عرصه جنگل جهت برنامه‌ریزی برای کاهش فراوانی صدمات و سطوح آتش‌سوزی باشد. سازمان خدمات جنگلداری کانادا بیش از ۵۰ سال است که تحقیقات آتش‌سوزی جنگل را به صورت گسترده‌ای انجام می‌دهد (Lee & Talib, 2005). Eskandari (۲۰۱۳) نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل را در دو نقطه از جنگل‌های شمال با استفاده از دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و همبستگی را ایجاد کرد. فاکتورهای مورد استفاده شامل ۴ معیار اصلی و ۱۷ زیرمعیار بود. نقشه‌های پتانسیل خطر تهیه شده با دو روش مورد مطالعه تطابق زیادی با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته داشته است. همچنین در مطالعه‌ای که Eskandari (۲۰۱۵) با عنوان ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل Dong در جنگل‌های بخش سه نکاء - ظالمروود انجام داد، اقدام به تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی منطقه از روی هم‌گذاری وزنی همه نقشه‌های متغیرهای مؤثر بر اساس مدل دانگ در GIS نمود. نتایج نشان داد که ۵۱ درصد از مناطق آتش‌سوزی‌های واقعی در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند.

Salehi و همکاران (۲۰۲۳) در پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی مناطق جنگلی با استفاده از روش تلفیقی شبکه عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات مکانی در منطقه حفاظت شده شیمبار واقع در استان خوزستان نشان دادند که ۲۰ درصد مساحت منطقه در طبقه متوسط پتانسیل وقوع آتش‌سوزی، ۱۱ درصد در طبقه زیاد و ۱۰ درصد در طبقه خیلی زیاد قرار دارد. همچنین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی، فاصله از رودخانه، تیپ اراضی، ارتفاع و حداقل دما شناسایی شد. با توجه به شاخص‌های مورد مطالعه مشخص شد که مدل‌های تلفیقی شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم اطلاعات مکانی در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر

آتش‌سوزی کارایی بسیار بالایی دارند. Tabibian (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی کالبدی خطر آتش‌سوزی جنگل با روش AHP فازی و ArcGIS در اسالم استان گیلان پرداخت و پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر در پنج طبقه از مناطق با پتانسیل خیلی زیاد تا پتانسیل خیلی کم نشان داد که از کل محدوده مطالعاتی، مساحت مناطق با خطر آتش‌سوزی خیلی زیاد برابر با ۷۱۷۰ هکتار و مساحت مناطق خطر آتش‌سوزی خیلی کم برابر با ۶۹۰۸ هکتار است. نتایج همچنین نشان داد مناطقی که در سال‌های گذشته دارای سابقه آتش‌سوزی بودند با نقشه نهایی کاملاً مطابقت داشته و ۴۸ درصد از آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در مناطقی با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد قرار گرفتند. Parnian و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی روش‌های پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی نواحی روستایی ایران و جهان پرداختند و نشان دادند که نوع پوشش گیاهی، شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها، توپوگرافی و کاربری اراضی، مؤثرترین عوامل در پایش وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها بوده‌اند و ادغام لایه‌ها معمولاً بر اساس سلسله‌مراتب و ضریب خطر در وقوع آتش‌سوزی انجام شده است. از فعالیت‌های قابل ذکر دیگر کشورها، تهیه نقشه پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های فعال به جهت شناسایی به موقع آتش‌سوزی با تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های طیفی مناسب است که نتایج مطلوبی را به منظور تصمیم‌گیری بهینه برای اطفاء و جلوگیری از این آشفستگی همراه داشته است. پژوهشگران در تحقیقات اخیر به بررسی ارزیابی شاخص پایش آتش‌سوزی پرداختند و شاخص سیستم رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی ایالات متحده نسبت به دیگر روش‌های مشابه در پایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع را به‌عنوان شاخصی جامع و مطلوب مطرح کردند. با بررسی مطالعات انجام شده می‌توان به این نتیجه رسید که در اکثر این موارد برای ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی از شاخص‌های محیطی مختلف استفاده شده و اغلب

دریا است (شکل ۱). میانگین بیشینه دما در این منطقه ۳۱/۲ درجه سانتی‌گراد در مردادماه، میانگین کمینه دما ۵/۷ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه و میانگین دما معادل ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی دهدز است (Mataji et al., 2013). به دلیل تنوع شرایط طبیعی حاکم بر محدوده مطالعاتی به خصوص ارتفاع از سطح دریا (مناطقی با کمتر از ۱۰۰۰ متر تا بیش از ۲۶۰۰ متر از سطح دریا)، در محدوده مورد مطالعه تنوع آب و هوایی گسترده‌ای حاکم است. نزولات آسمانی معمولاً در فصل پاییز، زمستان و بهار بصورت باران و در ارتفاعات بالاتر از ۱۸۰۰ متر به صورت برف صورت می‌گیرد. میزان بارندگی با توجه به ارتفاع در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه متفاوت است. میزان بارندگی سالانه در منطقه به‌طور متوسط ۵۷۶/۴ میلی‌متر بوده که حداقل آن در تابستان (صفر میلی‌متر) و حداکثر آن در زمستان (۲۹۴/۳ میلی‌متر) است. بالاترین میزان رطوبت نسبی در دی‌ماه برابر ۸۵ درصد و کمترین آن در تیرماه به میزان ۱۷/۶ درصد برآورد گردید. جهت باد غالب منطقه جنوب‌غربی و غرب است. با توجه به محاسبات و بنابر تقسیم‌بندی دومارتن و آمبرژه منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی جزء اقلیم نیمه‌خشک و تقریباً در مرز اقلیم مدیترانه‌ای طبقه‌بندی می‌شود (Mataji et al., 2013). از مهم‌ترین تیپ‌های جنگلی که وسیع‌ترین تیپ جنگلی منطقه و جنگل‌های اطراف را تشکیل می‌دهد، می‌توان به تیپ غالب بلوط ایرانی اشاره نمود. تیپ‌های آمیخته بلوط ایرانی با گونه‌هایی نظیر بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، زالزالک (*Crataegus azarolus* L.)، کیکم (*Acer monspessulanum* L.)، تنگرس (*Rhamnus*)، *Pistacia persica* Boiss. & Hohen. و کلخونگ (*Pistacia khinjuk* Stocks) نیز در منطقه دیده می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این جنگل‌ها پایین بودن تنوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای در منطقه است. اکثر درختان جنگلی این منطقه را گونه بلوط ایرانی (L. *Quercus brantii*) تشکیل می‌دهد (Mataji et al.,

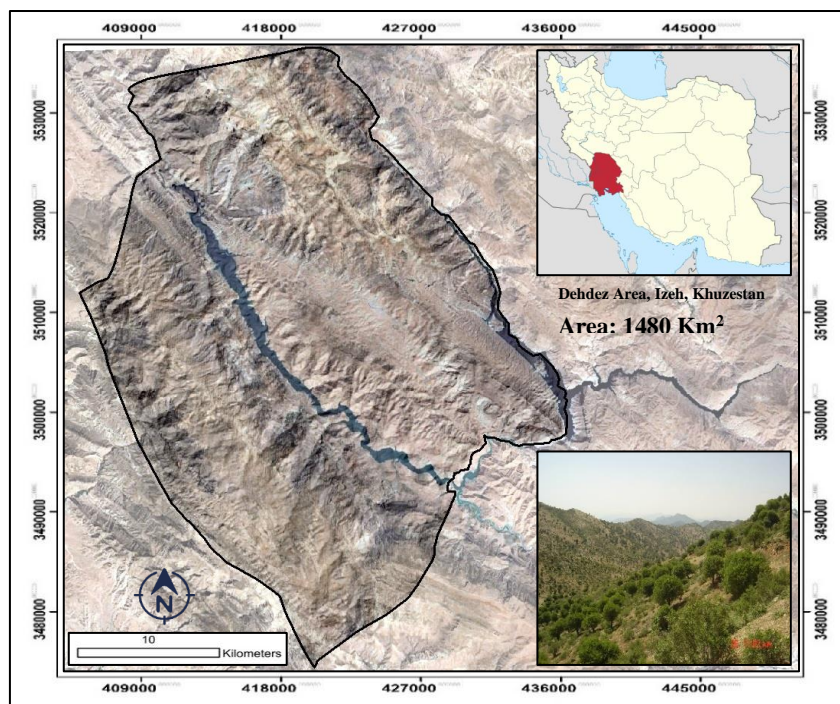
آنها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به این شاخص‌ها استفاده و به اختصاص وزن مناسب به متغیرهای محیطی تأکید کرده‌اند. اغلب این مطالعات از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری کارآمد در پتانسیل‌یابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها استفاده کرده‌اند به طوری که اهمیت کاربرد GIS به عنوان سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیریت و پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل‌ها محرز شده است، از این رو مدلی که با اختصاص وزن مناسب به متغیرهای محیطی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد اهمیت بسیار زیادی دارد. بنابراین با توجه به اهمیت پیش‌بینی آتش‌سوزی جنگل‌ها با استفاده از ابزار توانمند تحلیل مکانی از یک طرف و با توجه به وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های زاگرس از طرف دیگر، در این تحقیق در نظر است، ضمن شناسایی عوامل تاثیرگذار بر خطر آتش‌سوزی جنگل و وزن‌دهی به این عوامل، مناطق بحرانی بروز آتش‌سوزی را شناسایی و به مدیران جنگل معرفی نماید تا راهکاری مناسب جهت پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌های منطقه ارائه دهند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی دهدز، از توابع شهرستان ایذه در استان خوزستان، در "۵۰°۰۰'۰۸" تا "۵۰°۲۸'۳۸" طول شرقی و "۳۱°۲۴'۰۲" تا "۳۱°۵۵'۲۲" عرض شمالی در منطقه‌ای کوهستانی از سلسله جبال زاگرس واقع شده است که از شمال شرقی به استان چهارمحال و بختیاری از جنوب شرقی به استان کهگیلویه و بویراحمد از غرب و شمال غربی به شهرستان ایذه و از جنوب به شهرستان باغملک محدود می‌شود. این منطقه با مساحت تقریبی ۱۴۸۰ کیلومتر مربع بیش از ۱۹۳۵۱ نفر جمعیت دارد که در ۳ دهستان (دهدز، دنباله‌رود شمالی و جنوبی) متشکل از ۱۴۷ روستا، زندگی می‌کنند. حداقل ارتفاع از سطح دریا در محدوده مورد مطالعه ۶۰۸ متر و حداکثر ارتفاع ۳۵۷۹ متر از سطح

این منطقه (Attarroshan & Heydari, 2013). این منطقه به عنوان عرصه‌های تحت مدیریت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان قرار دارد.



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

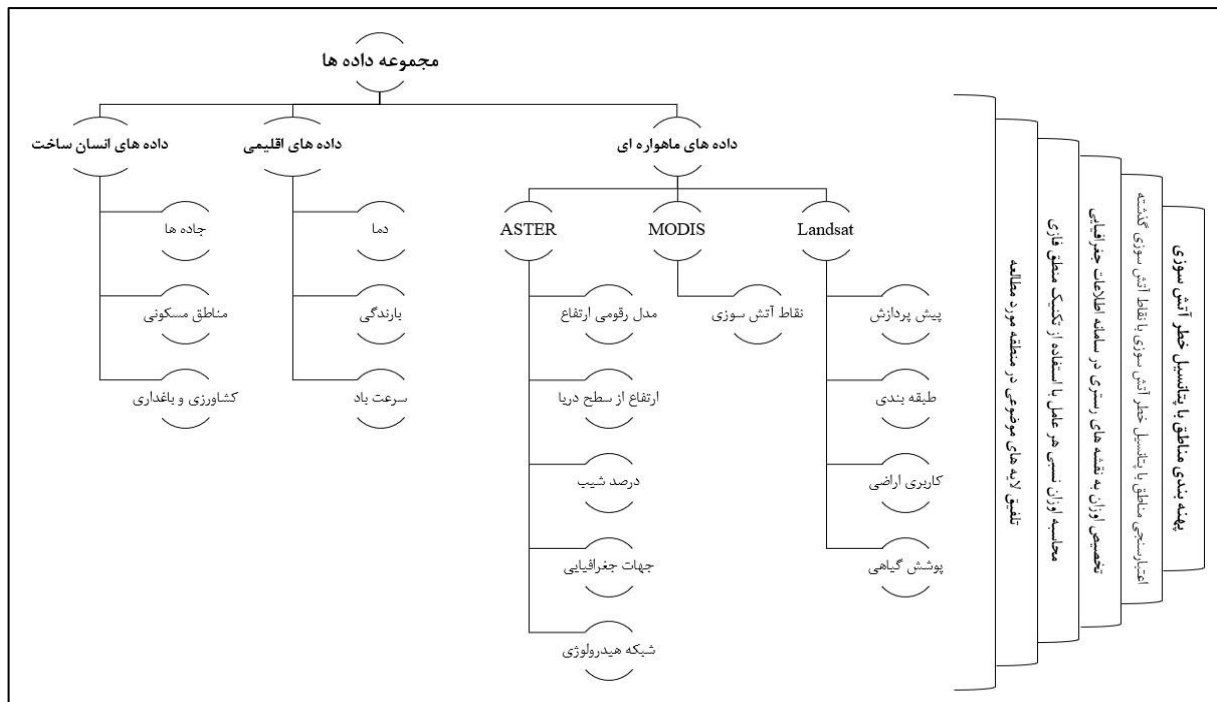
این روش اغلب توانی برای عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول بین ۱ تا ۵ است، ولی اغلب از توان ۲ استفاده می‌شود، یعنی عکس مجذور فاصله. مشخصه جالب این روش این است که وزن به کار رفته با افزایش فاصله به سرعت کاهش می‌یابد، در نتیجه درونیایی در این روش کاملاً محلی است و چون وزن‌های به کار رفته هیچگاه صفر نمی‌شوند، بنابراین هیچگونه انقطاع و عدم پیوستگی در برآوردها رخ نمی‌دهد (Webster & Oliver, 2000). سپس نقشه مربوط به این عوامل طبقه‌بندی شده و نقشه نهایی آنها تهیه شد. بر اساس تحقیقات انجام شده و در حد امکان، تمام معیارهای اصلی (توپوگرافی، انسان‌ساخت، اقلیمی و اکولوژیک) بر آتش‌سوزی‌های منطقه مورد مطالعه شامل ۱۲ زیر معیار ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه، کاربری اراضی/پوشش زمین، متوسط بارش سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، تراکم مراکز

### روش تحقیق

با استعلام از یگان حفاظت از منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان مشخص شد تعداد ۲۶۹ فقره آتش‌سوزی جنگل در بازه زمانی سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۰ در منطقه به ثبت رسیده است. با پیمایش زمینی به همراه جنگلبانان مقیم در منطقه و اطمینان از نقاط ثبت شده در گزارشات با مشاهده آثار آتش‌سوزی و همچنین تایید جنگلبانان، جنگلشنینان و کارشناسان، نقشه نقاط آتش‌سوزی در سنوات گذشته در محیط ArcMap 10.2.2 تهیه شد. برای تهیه نقشه رقومی داده‌های اقلیمی، از روش درونیایی IDW در GIS استفاده شد. این روش از جمله روش‌های درونیایی است که در آن برآورد بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنابر عکس فاصله وزن‌دهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیشتری داده می‌شود تا به نقاط دورتر. در

به سال ۲۰۲۲ با پوشش کامل منطقه مورد مطالعه که از سایت <https://www.gov.usgs> دانلود شد، استفاده گردید. برخی تصحیحات شامل تصحیحات رادیومتری، هندسی و همچنین تصحیح خطای جابه‌جایی ناشی از توپوگرافی بر روی تصاویر اعمال و بررسی تصحیحات اتمسفری نیز بر روی هر باند به طور جداگانه توسط نرم‌افزار SNAP و افزون SEN2COR انجام شد.

جمعیت، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از زمین‌های کشاورزی و باغات، سرعت و جهت باد و تیپ تراکم پوشش گیاهی منطقه در نظر گرفته شدند (Dong et al., 2005; Mansouri et al., 2011;) به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی در این مطالعه از داده‌های تصاویر سنجنده ماهواره Sentinel2A مربوط



شکل ۲- روندنمای مراحل انجام مطالعه  
Figure 2- Flowchart of methodology

زمینه آتش‌سوزی، معیارهای اصلی (عامل‌های ۱۲ گانه) در قالب AHP مورد مقایسه زوجی قرار گرفت و پس از دریافت و جمع‌آوری ۳۰ پرسشنامه ارسال شده به کارشناسان در سه زمان مختلف، نظرات یا پاسخ کارشناسان مختلف با روش میانگین هندسی در نرم‌افزار Expert Choice ادغام و در نهایت وزن هر یک از عامل‌های مؤثر در آتش‌سوزی جنگل به دست آمد (نرخ سازگاری = ۰/۰۹). در این مطالعه از روش آنالیز توسعه چانگ (Zarekar et al., 2013) استفاده شد (رابطه ۱). در این روش فرض می‌شود  $\tilde{A} = \{\tilde{M}_{ij}\}$  یک ماتریس مقایسه زوجی فازی باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

تهیه ساختار سلسله مراتبی اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است (Ghodsipour, 2010). در این پژوهش با بهره‌گیری از تکنیک AHP و تصمیم‌گیری گروهی، عامل‌های ۱۲ گانه مؤثر بر آتش‌سوزی مورد مقایسه قرار گرفته و در نهایت اهمیت نسبی یا وزن هر یک از عامل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice برآورد شد. در ابتدا نقشه‌های رقومی مربوط به هر یک از عامل‌ها تهیه و سپس بر اساس شرایط موجود در منطقه به طبقات مختلفی طبقه‌بندی شدند که سطح بعدی ساختار سلسله مراتبی را تشکیل می‌دهند. در مرحله بعد با تهیه پرسشنامه و ارسال آن به کارشناسان و متخصصین منابع طبیعی و جنگلداری صاحب‌نظر در

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))$$

گام چهارم: نرمالیزه کردن بردار  $W'$  و به دست آوردن بردار وزن نرمالیزه شده  $W$  است (رابطه-۴).

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \quad \text{رابطه ۴:}$$

پس از محاسبه وزن زیرمعیارها در AHP فازی، با استفاده از تابع Reclassify در محیط ArcMap، وزن‌های اختصاص داده شده برای هر طبقه تعریف شد. در گام نهایی، اوزان محاسبه‌شده در محیط GIS به نقشه‌های فازی رستری تأثیرگذار اختصاص داده شدند و نقشه‌های وزن‌دار، به دست آمدند. در ادامه با کمک توابع همپوشانی Calculator Raster تمامی لایه‌های اطلاعاتی روی هم قرار گرفتند و نقشه نهایی به روش Jenks در ۵ کلاس خطر آتش‌سوزی از خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. در این روش طبقه‌بندی، نقاط شکستگی بین طبقات به گونه‌ای تعیین می‌شود که به مناسب‌ترین وجه ممکن مقادیر مشابه در یک گروه قرار گرفته و تفاوت بین طبقه‌ها حداکثر شود و اگر یک یا چند عارضه در دسته‌ای خاص قرار نگیرند، هیچ مقداری به آن اختصاص داده نمی‌شود (Sanjary, 2007). در پایان، اعتبارسنجی و دقت نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی با استفاده از آتش‌سوزی‌های گذشته، در شناسایی مناطق حساس به آتش‌سوزی ارزیابی شد.

### نتایج

نقشه‌های نقاط سوخته شده (دارای سابقه آتش‌سوزی) در گذشته، طبقات ارتفاع، درصد شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها، فاصله از زمین‌های کشاورزی، فاصله از آبراهه‌ها، تراکم مراکز جمعیت، متوسط بارش سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، سرعت باد و کاربری اراضی در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده‌اند.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{M}_{12} & \dots & \tilde{M}_{1n} \\ \tilde{M}_{21} & 1 & \dots & \tilde{M}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{M}_{n1} & \tilde{M}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

آنگاه رابطه  $\tilde{M}_{ji} = 1/\tilde{M}_{ij}$  برقرار خواهد بود. آنالیز چانگ به صورت زیر انجام شد:

گام اول: اگر  $M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m$  مقادیر آنالیز توسعه آمین معیار به ازای  $m$  آرمان باشد، آنگاه بسط مرکب فازی  $m$  آرمان برای آمین معیار، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad \text{رابطه ۱:}$$

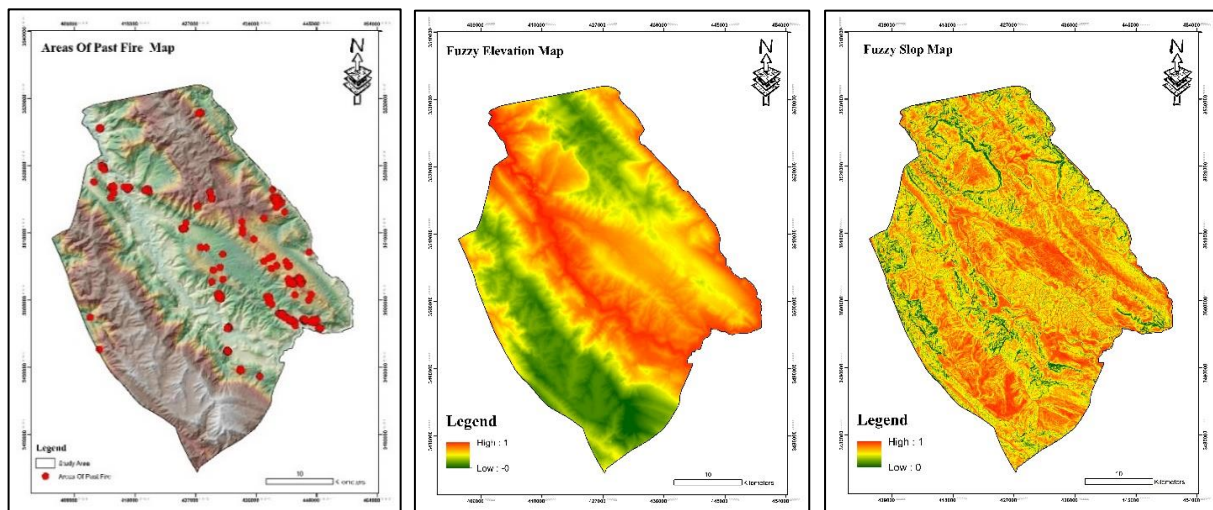
که در این فرمول  $j$  نماینده هر کدام از آرمان‌ها است. چنانچه  $M_{gi}^j = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  باشد آنگاه  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  به وسیله عملگر جمع فازی روی آنالیز توسعه  $m$  آرمان به صورت زیر تعریف می‌شود (Patil and Kunt, 2014). گام دوم: محاسبه درجه ارجحیت (درجه امکان‌پذیری)  $S_i$  بر  $S_k$  خواهد بود (رابطه ۲). چنانچه  $S_i = (l_i, m_i, u_i)$  و  $S_k = (l_k, m_k, u_k)$  دو عدد فازی مثلثی باشند، آنگاه درجه ارجحیت  $S_i$  بر  $S_k$  که با  $V(S_i > S_k)$  نمایش داده می‌شود، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(S_i > S_k) = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ \frac{l_k - u_i}{(m_i - u_i) - (m_k - l_k)} \end{cases} \quad \text{رابطه ۲:}$$

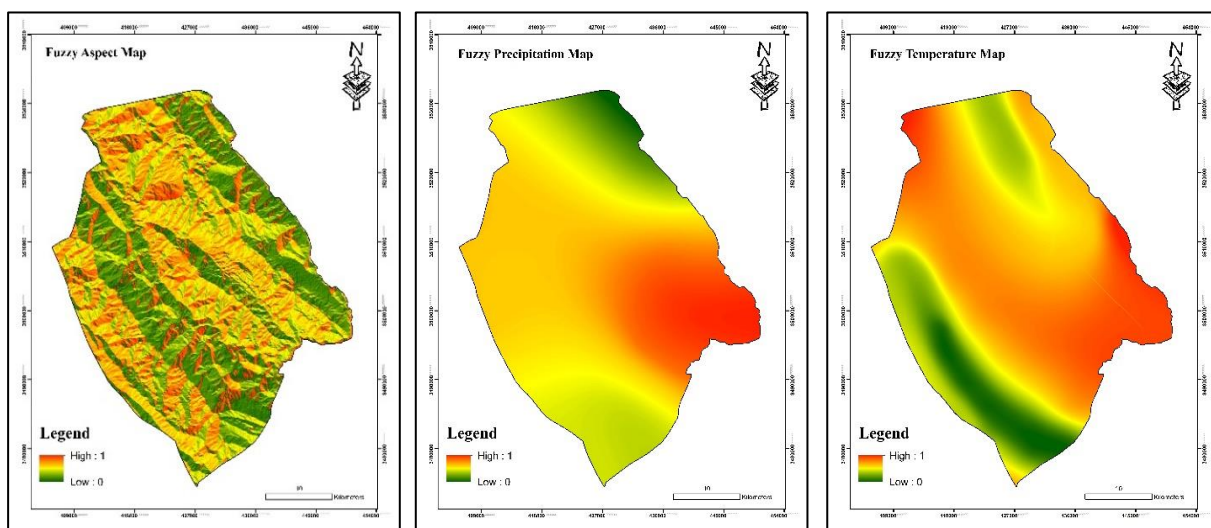
گام سوم: محاسبه درجه ارجحیت یک عدد فازی  $S$  که بزرگ‌تر از  $K$  عدد فازی  $S_i; i=1, 2, \dots, k$  است (رابطه ۳)، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) &= \\ &= V((S \geq S_1), (S \geq S_2), \dots, (S, S_k)) \\ &= \min V((S \geq S_1), (\geq S_2), \dots, (S, S_k)) \\ &= \min V(S \geq S_i) \end{aligned} \quad \text{رابطه ۳:}$$

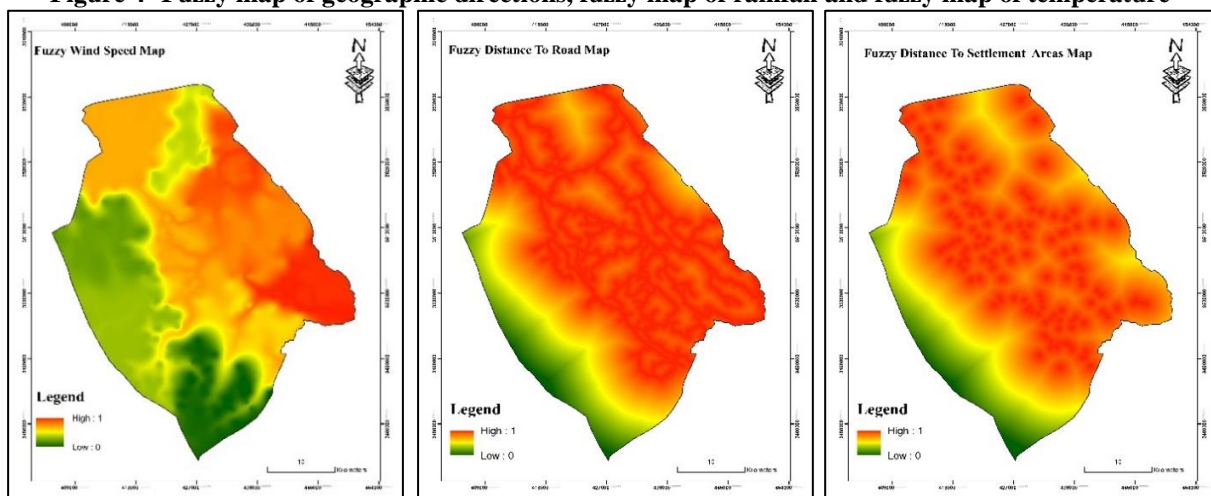
چنانچه برای هر  $k=1, 2, \dots, n$   $k \neq i$  فرض کنیم که  $d'(A_i) = \min V(S_i, S_k)$  آنگاه بردار وزن به صورت زیر محاسبه می‌شود:



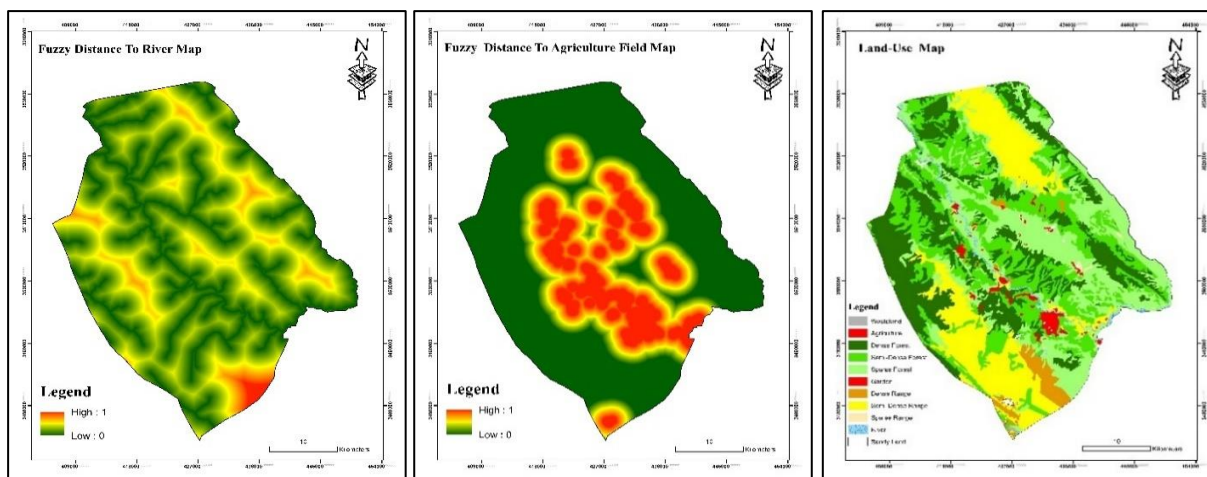
شکل ۳- نقشه نقاط آتش‌سوزی جنگل از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۰، نقشه فازی ارتفاع و نقشه فازی شیب  
 Figure 3- Map of forest fire positions from 2011 to 2021, fuzzy height and fuzzy slope maps



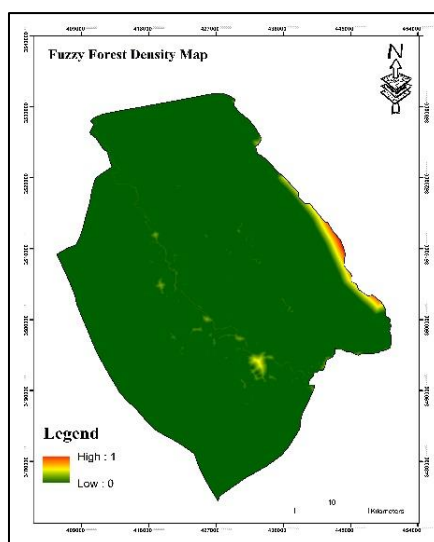
شکل ۴- نقشه فازی جهات جغرافیایی، نقشه فازی بارندگی و نقشه فازی درجه حرارت  
 Figure 4- Fuzzy map of geographic directions, fuzzy map of rainfall and fuzzy map of temperature



شکل ۵- نقشه فازی سرعت باد، نقشه فازی مراکز جمعیتی و نقشه فازی شبکه جاده‌ها  
 Figure 5- fuzzy map of wind speed, fuzzy map of population centers and fuzzy map of road network



شکل ۶- نقشه فازی شبکه آبراهه‌ها، نقشه فازی زمین‌های کشاورزی و باغات و نقشه کاربری اراضی  
Figure 6- fuzzy map of water resources network, fuzzy map of agricultural land and land use map.



شکل ۷- نقشه فازی تراکم جنگل  
Figure 7- Fuzzy map of forest density

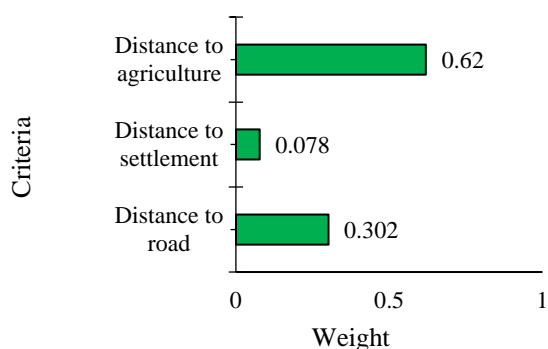
جدول ۱- داده‌های ماتریس خطا و ارزیابی صحت نقشه کاربری و پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Data of the error matrix and evaluation of the accuracy of the LULC map in the study area

نقشه طبقه‌بندی شده  
Classified map

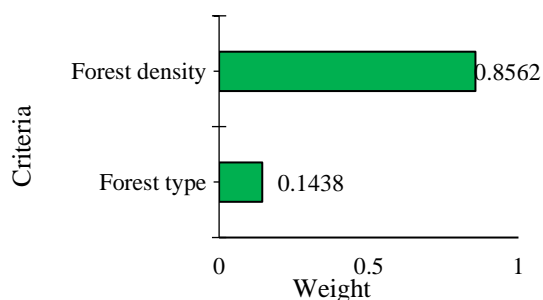
	جنگل Forest	مرتع Rangeland	رودخانه River	کشاورزی و باغ Agriculture & garden	اراضی ماسه‌ای و بایر Sandy & barren lands	جمع کل Total	صحت تولیدکننده Producer accuracy
جنگل	133	1	1	12	4	151	88.08
مرتع	6	27	0	5	3	41	65.85
رودخانه	0	0	5	2	0	7	71.43
کشاورزی و باغ	3	0	1	44	2	51	89.8
اراضی ماسه‌ای و بایر	3	0	0	7	35	45	77.78
جمع کل	145	29	7	70	44	295	
صحت کاربری User accuracy (%)	91.1	93.1	71.43	61.97	83.33		82.71

توپوگرافی نشان داد که زیر معیار درصد شیب (۰/۵۶۴۴) نسبت به سایر زیر معیارها ارجحیت دارد. همچنین بر اساس اولویت بندی زیر معیارهای انسان ساخت نیز مشخص شد که زیر معیار فاصله از زمین-های کشاورزی و باغات (۰/۶۲) نسبت به سایر زیر معیارها دارای ارجحیت است. در بررسی زیر معیارهای اقلیمی هم زیر معیار بارش (۰/۵۲۳۸) نسبت به سایر زیر معیارها اولویت داشت و در نهایت، نتایج اولویت-بندی زیر معیار اکولوژیکی هم نشان داد که زیر معیار تراکم جنگل (۰/۸۵۶۲) نسبت به زیر معیار تیپ جنگل دارای ارجحیت است (شکل‌های ۸ تا ۱۱).



شکل ۹- اولویت بندی زیر معیارهای انسان ساخت

Figure 9- Prioritization of human activities sub-criteria

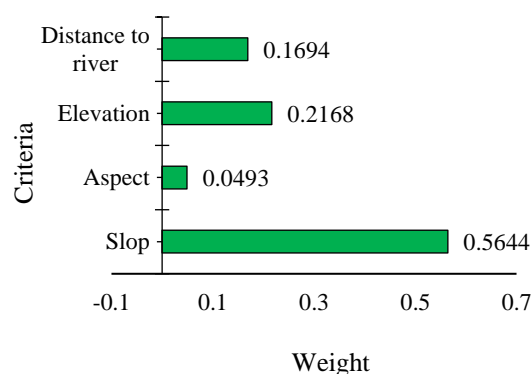


شکل ۱۱- اولویت بندی زیر معیارهای اکولوژیکی

Figure 11- Prioritization of ecological sub-criteria

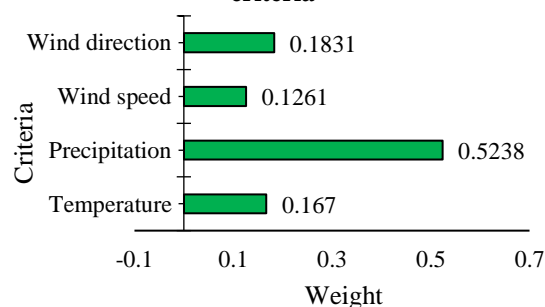
(جدول ۳). به منظور مقایسه وزن معیارها در این مطالعه بر اساس آنالیز توسعه چانگ و بر اساس رابطه ۲ مقادیر  $S_i$  محاسبه شد (جدول ۴). در ادامه با استفاده از رابطه ۳ درجه ارجحیت هر معیار بر دیگر معیارها مشخص و پس از تعیین اوزان خام، با استفاده از رابطه ۴ اوزان نرمال شده هر معیار محاسبه شد (جدول ۵).

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، بر اساس نتایج به دست آمده، صحت کلی نقشه بر مبنای نمونه‌های تعلیمی (پیمایش زمینی، ۲۹۵ نقطه) ۸۲/۷۱ درصد و صحت طبقه‌بندی در طبقه‌های جنگل، مرتع، رودخانه، زمین‌های کشاورزی، اراضی ماسه‌ای، اراضی بایر و باغات به ترتیب ۸۸/۰۸، ۶۵/۸۵، ۷۱/۴۳، ۸۹/۸ و ۷۷/۷۸ درصد محاسبه شد (جدول ۱). با توجه به اینکه نتایج صحت‌سنجی به عدد ۱۰۰ نزدیک است، نقشه کاربری اراضی تولیدشده از قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار است. همچنین مقدار ضریب کاپای کل ۰/۷۴ برآورد شد (جدول ۲). نتایج اولویت بندی زیر معیار



شکل ۸- اولویت بندی زیر معیارهای توپوگرافی

Figure 8- Prioritization of topographic sub-criteria



شکل ۱۰- اولویت بندی زیر معیارهای اقلیمی

Figure 10- Prioritization of climatic sub-criteria

به منظور اولویت بندی معیارهای اصلی در روش AHP فازی بر اساس زیر معیارهای این مطالعه و با توجه به پاسخ‌های خبرگان به مقایسات زوجی، با استفاده از روش میانگین هندسی پرداخته شد. به این منظور پاسخ‌ها ادغام، ماتریس زوجی ادغام شده تشکیل و در نهایت مقایسات زوجی معیارهای اصلی انجام شد

جدول ۳- مقایسات زوجی معیارهای اصلی در AHP فازی  
Table 3- Pairwise comparisons of the criteria by the FAHP

اقلیمی Climatic	اکولوژیکی Ecological	انسان‌ساخت Human activities	توپوگرافی Topographic	شاخص Criteria
(3.538, 4.339, 5.163)	(0.181, 0.221, 0.285)	(0.141, 0.165, 0.198)	(1, 1, 1)	توپوگرافی
(1.381, 2.416, 3.431)	(2.482, 3.497, 4.505)	(1, 1, 1)	(5.03, 6.047, 7.059)	انسان‌ساخت
(0.186, 0.23, 0.301)	(1, 1, 1)	(0.221, 0.285, 0.402)	(3.497, 4.505, 5.51)	اکولوژیکی
(1, 1, 1)	(3.313, 4.336, 5.349)	(0.291, 0.413, 0.723)	(0.193, 0.23, 0.282)	اقلیمی

جدول ۴- مقادیر  $S_i$  معیارهای اصلی در روش آنالیز توسعه چانگ  
Table 4-  $S_i$  values of the criteria using Chang's method.

$S_i$	$M_{gi}^j$	شاخص Criteria
0.04, 0.053, 0.199	1.478, 1.571, 1.71	توپوگرافی
0.269, 0.437, 1	9.895, 12.962, 15.996	انسان‌ساخت
0.137, 0.212, 0.403	5.053, 6.291, 7.913	اکولوژیکی
0.183, 0.298, 0.724	6.73, 8.858, 11.171	اقلیمی
0.183, 29.682, 36.791	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$	

جدول ۵- درجه ارجحیت معیارها اصلی نسبت به هم  
Table 5- Possibility degree of the criteria compared to each other

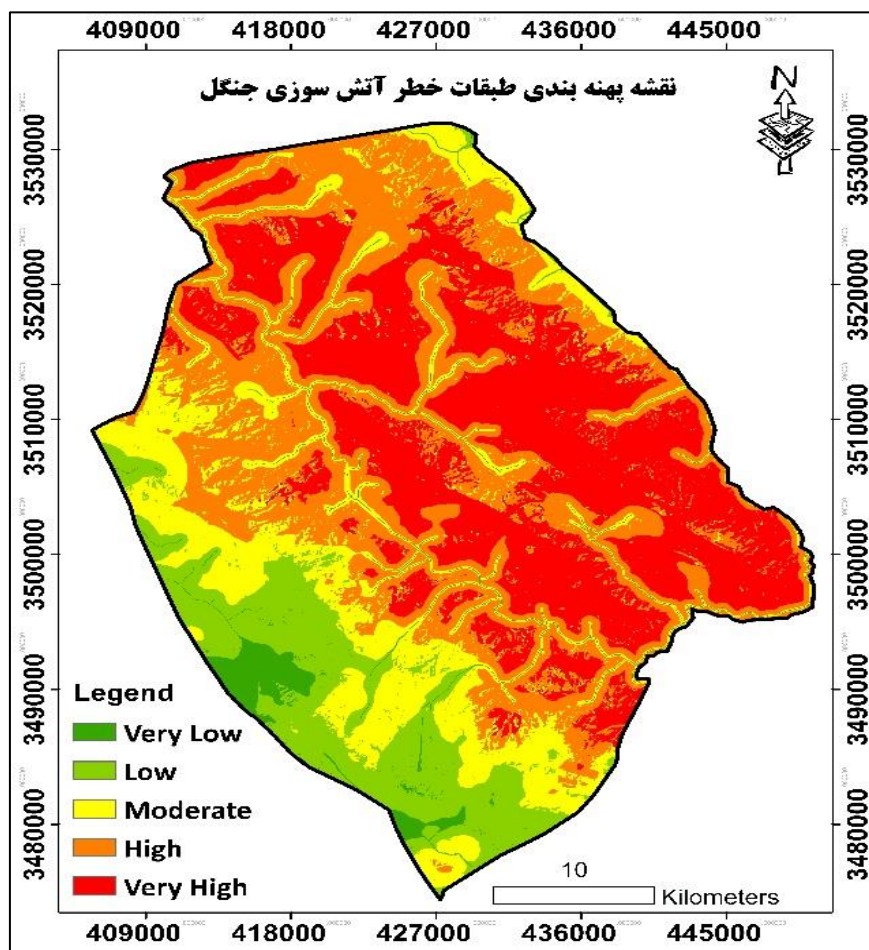
وزن نرمال Normal weight	وزن خام Raw weight	اقلیمی Climatic	اکولوژیکی Ecological	انسان‌ساخت Human activities	توپوگرافیک Topographic	شاخص Criteria
0.0191	0.024	0.945	0.936	0.024	-	توپوگرافی
0.7869	1	1	1	-	1	انسان‌ساخت
0.0896	0.114	1	-	0.114	1	اکولوژیکی
0.1044	0.133	-	0.992	0.133	1	اقلیمی

جغرافیایی (GIS)، مساحت پهنه‌های مستعد آتش‌سوزی در ۵ طبقه از خیلی کم تا خیلی زیاد به دست آمد. مناطق با خطر آتش‌سوزی خیلی زیاد برابر با ۵۲۸۰۳/۷۴ هکتار (۳۵/۸ درصد) و مساحت مناطق با خطر آتش‌سوزی خیلی کم برابر با ۴۰۶۸/۳۷ هکتار (۲/۷۶ درصد) برآورد شد (جدول ۶ و شکل ۱۲).

با توجه به نتایج جدول ۵، معیار اصلی انسان‌ساخت با وزن ۰/۷۸۶۹ در درجه اول اهمیت، معیار اقلیمی با وزن ۰/۱۰۴۴ در درجه دوم، معیار اکولوژیکی با وزن ۰/۰۸۹۶ در درجه سوم و معیار توپوگرافی با وزن ۰/۰۱۹۱ در درجه چهارم اهمیت قرار گرفتند. پس از ارزش‌گذاری لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات

جدول ۶- مساحت پهنه‌های مستعد آتش‌سوزی در مدل AHP فازی  
Table 6- Area of places at risk of fire in the FAHP model

درصد مساحت Area (%)	مساحت (هکتار) Area (ha)	طبقات خطر آتش‌سوزی Fire risk classes
2.76	4068.37	خیلی کم
12.13	17894.88	کم
18.17	26792.35	متوسط
31.14	45912.72	زیاد
35.8	52803.74	خیلی زیاد



شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی مدل AHP فازی در منطقه مورد مطالعه

Figure 12- FAHP model zoning map in the study area

بیشترین تأثیر را در آتش‌سوزی جنگل‌های این منطقه داشته و به ترتیب معیارهای اقلیمی (۰/۱۰۴۴)، معیار اکولوژیک (۰/۰۸۹۶) و در نهایت معیار توپوگرافی (۰/۰۱۹۱) در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در معیار انسان‌ساخت، زیرمعیار فاصله تا زمین‌های کشاورزی و باغات (۰/۰۶۲) بیشترین اولویت را داشت؛ به‌این ترتیب مناطق جنگلی نزدیک به زمین‌های کشاورزی بیشترین خطر وقوع آتش‌سوزی را داشتند که علت آن را می‌توان به استفاده از آتش‌سوزی عمدی به‌عنوان ابزاری برای تغییر کاربری اراضی جنگلی به کشاورزی توسط جنگل‌نشینان، پاک‌سازی مزارع و نیز از بین بردن پسماندهای کشاورزی نسبت داد. از سوی دیگر با توجه به اینکه کاربری جنگل سطح زیادی از منطقه را پوشانده است، بیشتر آتش‌سوزی‌ها در این کاربری اتفاق افتاده است که این موضوع به دلیل نزدیکی به مناطق مسکونی و کاربری‌های کشاورزی قابل توجیه است (Shafiei *et al.*, 2015). بیشترین آتش‌سوزی جنگل در

## بحث

آتش‌سوزی جنگل به‌عنوان بخش مهمی از آشفستگی در محیط‌زیست، باعث آلودگی هوا، از بین رفتن ثروت‌ها و امکانات بسیاری می‌شود و جان انسان‌های ساکن در جنگل یا در مجاورت جنگل را با مخاطرات جدی مواجه می‌سازد. به‌این ترتیب می‌توان از آتش‌سوزی جنگل به‌عنوان یکی از مصادیق بحران‌های طبیعی یاد کرد (Mansouri *et al.*, 2011). شناسایی عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی و پهنه‌بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مقابله با حریق است (Mustafa *et al.*, 2018). این مطالعه به‌منظور شناسایی مناطق پرخطر آتش‌سوزی در حوزه جنگلی دهدز در استان خوزستان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی انجام شد. با توجه به وزن نهایی به‌دست‌آمده برای معیارها می‌توان نتیجه گرفت که معیار انسان‌ساخت (۰/۷۸۶۹) از بین سایر معیارها

این منطقه در نزدیک‌ترین فاصله از جاده و دورترین فاصله از رودخانه اتفاق افتاده است. در مورد فاصله از رودخانه در برخی از پژوهش‌ها، بیشترین آتش‌سوزی‌ها در فاصله کمتری از رودخانه‌ها رخ داده است (Dong *et al.*, 2005; Erten *et al.*, 2005). این مطالعه بر اساس مشاهدات زمینی، اکثر رودخانه‌های منطقه از دره‌هایی با شیب زیاد عبور می‌کنند و در سایر مناطق غالباً اطراف رودخانه‌های منطقه به باغ‌های میوه تبدیل شده است و تا فواصل دوردست نیز پوشش جنگلی از بین رفته است. وجود جاده در مناطق جنگلی منافع زیادی نظیر دسترسی سریع نیروهای امدادی را به همراه دارد اما در نقطه مقابل دسترسی مردم و یا افراد سودجو را نیز به جنگل میسر می‌سازد که می‌تواند به صورت عمدی یا غیرعمدی باعث ایجاد آتش‌سوزی در جنگل شود (Attar Roshan *et al.*, 2022). شبکه راه‌های دسترسی و روستاهای منطقه مورد مطالعه سبب شده‌اند تا انسان هرچه بیشتر و راحت‌تر به مناطق جنگلی به منظور تفریح، چرای دام، کشاورزی و سایر فعالیت‌ها دسترسی پیدا کرده و به دلیل بی‌احتیاطی اقدام به روشن کردن آتش و رهاسازی نماید (Tabibian, 2022). شایان ذکر است در این پژوهش موقعیت جغرافیایی مناطقی که در گذشته دچار آتش‌سوزی شده بودند ثبت و پس از تهیه نقشه رقومی، موقعیت نقاط بر روی نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی قرار داده شد. نتایج نشان داد که مناطقی که در گذشته دچار آتش‌سوزی شده‌اند، با مناطق پرخطر و بسیار پرخطر از نظر آتش‌سوزی جنگل تا حد بسیار زیادی همخوانی دارند که این یافته می‌تواند دقت مدل پیشنهادی را تأیید نماید.

در این مطالعه معیار اقلیمی در اولویت بعدی اهمیت قرار داشت به ترتیبی که بیشترین خطر آتش‌سوزی در طبقات با دمای زیاد و بارش کم اتفاق افتاده است که این مورد به دلیل ایجاد شرایط محیطی مناسب برای وقوع آتش‌سوزی کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گیاهان به علت رطوبت کمتر و درجه حرارت بالاتر با سهولت بیشتر از جنگل‌های سایر نقاط طعمه آتش‌سوزی شده و این آتش‌سوزی به سرعت گسترش یافته و سطح وسیعی از جنگل را در زمان کوتاهی در بر می‌گیرد (Nuthammachot and Stratoulas, 2019). در بین زیر معیارهای توپوگرافی نیز زیر معیار درصد شیب (۰/۵۶۴۴) در درجه اول اهمیت قرار گرفت. نتایج نشان داد

بیشترین احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل در مناطقی با شیب کم وجود دارد و عرصه‌های پرشیب در قسمت‌های جنوبی تا غرب منطقه، حداقل خطر وقوع آتش‌سوزی را دارند. لازم به ذکر است تمرکز پدیده‌های انسان‌ساخت نظیر مناطق مسکونی، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی در همین مناطق واقع شده‌اند که بر اساس نتایج، حضور پدیده‌های یادشده خطر آتش‌سوزی در منطقه را افزایش می‌دهد (Lamat *et al.*, 2020). جهت جغرافیایی و از بین جهت‌ها نیز جهت جنوبی بیشترین تأثیر را بر وقوع آتش‌سوزی جنگل داشته است. این جهت‌ها به علت رطوبت کم، افزایش تبخیر و تعرق، خشک‌تر بودن و قرار داشتن در معرض نور خورشید بیشتر در معرض آتش‌سوزی قرار دارند (Matin *et al.*, 2017). در بین گزینه‌های معیار ارتفاع از سطح دریا نیز ارتفاعات میانی تا پایین بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. همان‌طور که در نقشه پهنه‌بندی مدل AHP فازی مشاهده می‌شود قسمت‌های جنوبی تا غرب محدوده مورد مطالعه با بیشترین ارتفاع دارای حداقل خطر آتش‌سوزی است که کمبود جاده‌های دسترسی در این مناطق، افزایش میزان بارندگی، کاهش چشمگیر مناطق مسکونی از مهم‌ترین دلایل آن است (Rasooli *et al.*, 2018). منطقه مورد مطالعه در مجموع پتانسیل نسبتاً زیادی برای آتش‌سوزی دارد، به گونه‌ای که بر اساس نقشه تهیه‌شده، ۳۵/۸ درصد منطقه در طبقه خطر خیلی زیاد و ۳۱/۱۴ درصد نیز در طبقه زیاد قرار گرفته است که در مجموع ۶۹/۹۴ درصد منطقه تحت خطر آتش‌سوزی زیاد قرار دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

خطر آتش‌سوزی، جنگل‌ها، مراتع، زمین‌های کشاورزی و سایر کاربری‌های موجود در منطقه را تهدید می‌کند؛ بنابراین نقشه به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌تواند به‌عنوان راهنما در مدیریت آتش‌سوزی برای مقابله با آن در مناطق با خطر زیاد و متمرکز کردن نیروها و امکانات در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. طراحی و احداث آتش‌بر و هم‌چنین پاک‌سازی سالیانه آن‌ها، پیش‌بینی و نصب تابلوهای هشدار در منطقه، ساماندهی گشت‌وگذار مردم در جنگل و گسترش کمی و کیفی تفرجگاه‌های ایجاد شده، از جمله اقدامات مؤثر در کنترل پدیده مخرب آتش‌سوزی جنگل خواهد بود. با توجه به تأثیر زیاد کاربری اراضی در وقوع آتش‌سوزی جنگل

آتش‌سوزی در جنگل با توجه به شرایط منطقه‌ای، ویژگی‌های مختص به خود را داشته که باید متناسب با شرایط مدل مناسب را ایجاد نمود.

### سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری مصوب در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از اساتید محترم گروه علوم محیط‌زیست و همچنین کارشناسان محترم اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشند.

### References

- Attar Roshan, S., Heydari, M., Wait, A., Uddin, S.M., Lucas-Borja, M.E. & Keeley, J.E. (2022). Divergent successional trajectories of soil seed bank and post-fire vegetation in a semiarid oak forest: Implications for post-fire ecological restoration. *Ecological Engineering*, 182, 106736. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106736>
- Bavarsad, F.S., Attarroshan, S. & Orak, N., (2023). Assessment of fire history effects on the plant diversity and regeneration of woody species in *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd. forests in HaftShahidan protected area. *Acta Ecologica Sinica*, 43(6), 968-976. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.02.010>
- Dong, X., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T. & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169-174. <https://doi.org/10.1007/BF02856809>
- Erten, E., Kurgun, V. & Musaoglu, N. (2004). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: A case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, (4), 1-10.
- Eskandari, S. (2013). *Proposing the Forest Fire Potential Model and its Spread using RS and GIS*. Ph.D Thesis of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
- Eskandari, S. (2015). Assessment of the Forest Fire Risk Potential using the Dong Model (Case Study: The Forests of District 3 of Neka, Zalemroud). *Journal of Geographical Survey of Space*, 6 (15), 195-209. (In Persian)
- Gerdzheva, A.A. (2014). A Comparative analysis of different wildfire risk assessment models (a case study for smolyan district, Bulgaria). *European Journal of Geography*, 5(3), 22-36.
- Ghodsipour, S.H. (2010). *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Amirkabir University Press, Tehran, 222p.
- Hallema, H.D.W., Robinne, F.N. & Bladon, K.D. (2018). Reframing the challenge of global wildfire threats to water supplies. *Earth's Future*, 6(6), 772-776. <https://doi.org/10.1029/2018EF000867>
- Heydari, M., Faramarzi, M. & Pothier, D. (2016). Post-fire recovery of herbaceous species composition and diversity, and soil quality indicators one year after wildfire in a semi-arid oak woodland. *Ecological Engineering Journal*, (94), 688-697. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.032>
- Heydari, M., Attar Roshan, S., Lucas-Borja, M.E., Omidipour, R. & Prévosto, B. (2021a). Diverging consequences of past forest management on plant and soil attributes in ancient oak forests of southwestern Iran. *Forest Ecology and Management*, (494), 119360. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119360>
- Heydari, M., Attar Roshan, S., Omidipour, R., Lucas-Borja, M.E. & Prevosto, B. (2021b).

- Current plant ecological features reflect historical forest management systems in semi-arid oak forests. *Ecological Engineering*, (167), 106268.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106268>
- Janbaz Ghobadi, R. (2019). Investigation of forest Fire Risk Areas in Golestan Province based on FRIS using GIS. *Journal of Spatial Analysis of Natural Hazards*, (3), 89-102.  
<https://doi.org/10.29252/jsaeh.6.3.89> (In Persian)
- Jhariya, M.K. & Singh, L. (2021). Effect of fire severity on soil properties in a seasonally dry forest ecosystem of Central India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(12), 3967-3978.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-020-03062-8>
- Lamat, R., Kumar, M., Kundu, A. & Lal, D. (2020). Forest fire risk mapping using analytical hierarchy process (AHP) and earth observation datasets: a case study in the mountainous terrain of Northeast India, *Applied Sciences journal*, (3), 425, 1-16.  
<https://doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0>
- Lee, S. & Talib, J.A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Journal of Environmental Geology*, (47), 982-990.  
<https://doi.org/10.1007/s00254-005-1228-z>
- Lozano, F.J., Suárez-Seoane, S., Kelly, M. & Luis, E. (2008). A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region. *Journal of Remote Sensing of Environment*, (112), 708-719.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.006>
- Mansouri, N., Nazari, R., Nasiri, P. & Gharagozlu, A.R. (2011). Planning forest fire crisis management using GIS & RS. *Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science*, 2(3), 63-73.
- Mataji, A., Daliri, H.K., Babaie, S., Jafari, S. & Attar Roshan, S.A. (2013). Flora diversity in burned forest areas in Dehdez, Iran. *Folia Forestalia Polonica*, 55(1), 33-41.  
<https://doi.org/10.2478/ffp-2013-0005>
- Mahdavi, A., FallahShamsi, S.R. & Nazari, R. (2012). Forests and Rangelands wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, (10), 43-52.
- Matin, M.A., Chitale, V.S., Murthy, M.S.R., Uddin, K., Bajracharya, B. & Pradhan, S. (2017). Understanding Forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data. *International Journal of Wildland Fire*. (26), 276-286.  
<https://doi.org/10.1071/WF16056>
- Miller, C. & Ager, A. (2013). A review of recent advances in risk analysis for wildfire management. *International Journal of Wildland Fire*, 22(1), 1-14.  
<https://doi.org/10.1071/WF11114>
- Moazzeni, N., Sayah nia, R. & Esmaeilzadeh, H. (2020). Metodological Framework for Risk Classification of Forest Fireing in Iland Ecosystem (Case Study: Kurdistan Province), *Environmental Research*, 11(21), 97-108. (In Persian)
- Moradzadeh, H., Heydari, M., Omidipour, R., Mezbani, A. & Prévosto, B. (2020). Ecological effects of fire severity and time since fire on the diversity partitioning, composition, and niche apportionment models of post-fire understory vegetation in semi-arid oak forests of Western Iran. *Ecological Engineering Journal*, (143), 105694.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105694>
- Mustafa, A., Rienow, A., Saadi, I., Cools, M. & Teller, J. (2018). Comparing support vector machines with logistic regression for calibrating cellular automata land use change models. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 391-401.  
<https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1442179>
- Nuthammachot, N. & Stratoulis, D. (2019). A GIS- and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. *Geocarto International*, 36 (2), 212-225.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1611946>
- Parnian, M., Asadi Oskoui, A. & Rahnama, M. (2021). Investigation of Fire Monitoring and Forecasting Methods in the Vegetation of Iran and the World. *Climatology Research Journal*, 12(47), 103-122. (In Persian)
- Patil, S. K. & Kant, R. (2014). A hybrid approach based on fuzzy DEMATEL and FMCDM to predict success of knowledge management adoption in supply chain. *Applied Soft Computing*, (18), 126-135.

- <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.027>  
Rasooli, S.B., Bonyad, A.E. & Bavaghar, M. (2018). Forest fire vulnerability map using remote sensing data, GIS and AHP analysis (case study: Zarivar Lake surrounding area). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 369–377.
- <https://doi.org/10.22124/cjes.2018.3205>  
Salehi, N., Dashti, S., Ataroshan, S., Nazarpour, A. & Jaafarzadeh, N. (2023a). Forest Risk Fire Zoning using an Integrated Method of Artificial Neural Network and Spatial Information System (Murray Study: Shimbar Protected Area). *Environmental Erosion Research Journal*, 13 (2), 235-253. (In Persian)
- Salehi, N., Dashti, S., Attar Roshan, S., Nazarpour, A. & Jaafarzadeh, N. (2023b). Using neural networks and a fuzzy inference system to evaluate the risk of wildfires and the pinpointing of firefighting stations in forests on the northern slopes of the Zagros Mountains, Iran (case study: Shimbar national wildlife preserve). *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 294.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10702-8>
- Sanjary, S. (2007). *Application Guide to ArcGIS 9.2*, Abed Press, Tehran, 334 (In Persian)
- Sazawa, K., Yoshida, H., Okusu, K., Hata, N. & Kuramitz, H. (2018). Effects of forest fire on the properties of soil and humic substances extracted from forest soil in Gunma, Japan. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(30), 30325-30338.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3011-1>
- Semeraro, T., Mastroleo, G., Aretano, R., Facchinetti, G., Zurlini, G. & Petrosillo, I. (2016). GIS fuzzy expert system for the assessment of ecosystems vulnerability to fire in managing Mediterranean natural protected areas. *Journal of Environmental Management*, 168, 94-103.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.053>
- Shafiei, A., Beygi Heidarlu, H. & Erfanian, M. (2015). Evaluating the Fuzzy Weighted Linear Combination Method in Forest Fire Risk Mapping (Case study: Sardasht Forests, West Azerbaijan Province, IRAN), *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 22(3), 29-52.  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222077.1394.22.3.2.8> (In Persian)
- Tabibian, S. (2022). Physical Zoning of Forest Fire Risk by Fuzzy AHP method and GIS (Case Study: Asalem). *Scientific Journal of Physical Development Planning*, 2(26) 61-72.  
<https://www.doi.org/10.30473/psp.2022.62345.2561> (In Persian)
- Taylor, S.W. & Alexander, M.E. (2006). Science, technology, and human factors in fire danger rating: The Canadian experience. *International Journal of Wild Land Fire*, 15(1), 121- 135.  
<https://doi.org/10.1071/WF05021>
- Vadrevu, K. & Lasko, K. (2015). Fire regimes and potential bioenergy loss from agricultural lands in the Indo-Gangetic Plains. *Journal of Environmental Management*, (148), 10–20.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.026>
- Valdez, M.C., Chang, K.T., Chen, Ch.F., Chiang, Sh.H. & Santos, J.L. (2017). Modelling the spatial variability of wildfire susceptibility in Honduras using remote sensing and geographical information systems. *Journal of Geomatics, Natural Hazards and Risk*, (8),1-7.  
<https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1278404>
- Webster, R. & M.A. Oliver, (2000). *Geostatistics for environmental scientists*, Wiley press, 271 pp.
- Zarkar, A., Kazemi Zamani, S., Bagheri, M., Ashgh Moala, H. & Jafari, R. (2013). Preparation of Forest Fire Risk Spatial Distribution Map using MCDM and GIS (Case Study: 3 Forest Areas in Gilan Province). *Iranian Forest and Populus Research Quarterly*, (2), 218-230. (In Persian)



## Investigation the efficiency remotely sensed indices in identification and separation of burned areas (Case study: Bivareh forest, Malekshahi county, Ilam Province)

Kobra Azizi<sup>1</sup>, Abdolali Karamshahi<sup>1\*</sup>, Reza Omidipour<sup>2</sup>

1. Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

\* Corresponding author: [a.karamshahi@ilam.ac.ir](mailto:a.karamshahi@ilam.ac.ir)

(Received: 20 September 2024

Revise: 11 November 2024

Accepted: 18 December 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** A forest is a natural ecosystem in which its components are in balance in a normal state, when they are affected by one or more natural or artificial destructive factors, depending on the severity of those factors, the state of balance and self-regulation is weakened or disappears. Nowadays, investigation and evaluation of changes and disturbances using satellite images has become one of the important sub-branches in natural resources sciences, and it is a tool for monitoring and controlling all kinds of changes in forest and pasture ecosystems. Fire is among these changes and disturbances, especially in the forests of Zagros. Fire is considered one of the important factors affecting natural covers, which can increase or decrease species diversity. There are several methods to detect changes in an area using satellite images, each of which has advantages and limitations. One of the methods of studying changes is the use of vegetation indices. Vegetation indices are one of the most important remote sensing tools, which are widely used to monitor and evaluate changes in vegetation, especially in the periods after a fire, and to prepare maps of burned areas in forests. The present research was conducted considering the importance of forests and frequent fires in the Zagros forests, especially the forests of the Bivareh region of Malekshahi county. In this case, the use of satellite data allows for extensive study of vegetation. Therefore, the current research aims to identify and separate the burnt areas to apply the correct management after the fire to help the vegetation cover by using remote sensing images.

**Materials and methods:** In this research, first, satellite images of fire-occurring years were obtained from the USGS website, and then 20 important indicators in fire detection were prepared using TerrSet 19 software. Then, ArcGIS 10.3 software was used to prepare maps analyze them, and provide outputs. In addition, the T-student test was used to compare the spectral indices values in burnt and control areas. Finally, by calculating the statistical parameter M, the strength and ability of each of the spectral indices in separating and distinguishing the burned areas from the adjacent areas was determined.

**Results and discussion:** The results of the mean comparison of spectral indices values in burnt and control areas showed that there was a significant difference ( $P$ -value  $< 0.05$ ) in terms of separability power of the examined indices between fire and control. Based on the results, using VI56 and CSI fire indices could be recommended as the best indices to separate burnt and control areas with 1–3 years of fire occurrence, due to their high efficiency and proper ability to separate burnt and control areas. Also, to identify and separate burned areas that are older than 3 to 5 years, the use of VI56, CSI, and MSAVI indices, and fire older than 5 to 7 years, VI56, and CSI indices can provide acceptable results.

**Conclusion:** By comparing the difference of fire indices in the years before and after the fire occurrence, it can be concluded that the CSI index indicates the highest difference between pre and post-fire occurrence. It expresses the difference better than other indices, and also this index is suggested for its advantage in identifying the areas affected by fire, investigating the spectral behavior pattern, and monitoring the vegetation restoration of the burned areas in Zagros forests. Based on the results, it is obvious that such research plays an important role in examining and evaluating the sensitivity of forest areas and making correct fire-extinguishing management decisions.

**Keywords:** Spectral indices, Remote sensing, Fire, Vegetation

Citation: Azizi, K., Karamshahi, A., & Omidipour, R. (2025). Investigation the efficiency remotely sensed indices in identification and separation of burned areas (Case study: Bivareh forest, Malekshahi county, Ilam Province). *Integrated Watershed Management*, 5(1), 129-146. doi: 10.22034/iwm.2024.2041551.1173

#### 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 کارائی شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده (مطالعه موردی: جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی، استان ایلام)

کبری عزیزی<sup>۱</sup>، عبدالعلی کرمشاهی<sup>۱\*</sup>، رضا امیدپور<sup>۲</sup>

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

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

\*نویسنده مسئول: [a.karamshahi@ilam.ac.ir](mailto:a.karamshahi@ilam.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** آتش‌سوزی به عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر پوشش‌های طبیعی محسوب می‌شود، که می‌تواند سبب افزایش یا کاهش تنوع گونه‌ای شود. روش‌های متعددی برای آشکارسازی تغییرات یک منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که هر یک دارای مزایا و محدودیت‌های هستند. یکی از روش‌های مطالعه تغییرات، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی است. شاخص‌های گیاهی از مهمترین ابزارهای سنجش از دور هستند که جهت نظارت و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی بخصوص در دوره‌های زمانی پس از آتش‌سوزی و تهیه نقشه‌های مناطق آتش‌سوزی شده در جنگل‌ها کاربرد فراوانی دارند. پژوهش حاضر با توجه به اهمیت جنگل‌ها و همچنین آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های زاگرس به ویژه جنگل‌های منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی انجام شد. در این حالت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد. لذا هدف پژوهش حاضر تفکیک و شناسایی مناطق سوخته شده به منظور اعمال مدیریت صحیح پس از آتش‌سوزی به منظور کمک به پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجش از دور انجام می‌گیرد.

**مواد و روش‌ها:** به منظور بررسی امکان شناسایی و تفکیک مناطق جنگلی سوخته شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی انتخاب شدند. در این تحقیق، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سال‌های آتش‌سوزی از سایت USGS دانلود گردید و سپس ۲۰ شاخص مهم در تشخیص آتش با استفاده از نرم‌افزار TerrSet 19 تهیه گردید. برای تهیه نقشه‌ها و تجزیه و تحلیل آنها و ارائه خروجی‌ها از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. در نهایت، با محاسبه پارامتر آماری M، قدرت و توانایی هر یک از شاخص‌های طیفی در جداسازی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور تعیین شد.

**نتایج و بحث:** نتایج تجزیه واریانس مقایسه میانگین قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی در مناطق سوخته شده و کنترل در منطقه مورد مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های مورد بررسی بین آتش و کنترل وجود دارد. بر اساس بررسی نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر می‌توان چنین بیان نمود که عرصه‌های جنگلی و مرتعی جنگل‌های زاگرس به منظور شناسایی و تفکیک محدوده مناطق سوخته شده از مناطق کنترل که دارای سابقه ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی می‌باشند کاربرد شاخص‌های VI56 و CSI طیفی می‌تواند با توجه به کارایی بالا و توانایی مناسب در تفکیک این محدوده‌ها قابل توصیه باشد. همچنین برای شناسایی و تفکیک محدوده‌های سوخته شده که قدمت بالاتر از ۳ تا ۵ سال را دارا هستند کاربرد شاخص‌های VI56 و CSI و MSAVI و قدمت بالاتر از ۵ تا ۷ سال شاخص‌های VI56 و CSI می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه دهند.

**نتیجه‌گیری:** با مقایسه میزان اختلاف شاخص‌های مختلف در سال‌های قبل و بعد از آتش‌سوزی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص CSI به دلیل آنکه بیشترین مقدار اختلاف قبل و بعد از وقوع آتش‌سوزی را نشان می‌دهد؛ بهتر از سایر شاخص‌ها تفاوت را بیان کرده و همچنین این شاخص به خاطر مزیت آن در شناسایی مناطق دچار آتش‌سوزی برای بررسی الگوی رفتار طیفی و بازسازی پوشش گیاهی توده‌های سوخته جنگل‌های زاگرس پیشنهاد می‌گردد. بر اساس نتایج، بدیهی است چنین پژوهشی نقش مهمی در بررسی و ارزیابی میزان حساسیت عرصه‌های جنگلی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی صحیح اطفای حریق ایفا می‌کند که در صورت عدم چاره‌اندیشی صحیح، این مقدار پوشش سبز موجود نیز از بین خواهد رفت.

**کلید واژگان:** آتش‌سوزی، پوشش گیاهی، سنجش از دور، شاخص‌های طیفی

**استناد:** عزیزی، ک.، کرمشاهی، ع.؛ و امیدپور، ر. (۱۴۰۴). بررسی کارائی شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده (مطالعه موردی: جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی، استان ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱۵(۱)، ۱۲۹-۱۴۶.

### حق چاپ:



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

## مقدمه

جنگل، اکوسیستمی است که در حالت طبیعی اجزای تشکیل دهنده آن با هم در تعادل قرار دارند، هنگامی که تحت تأثیر یک یا چند عامل مخرب طبیعی یا مصنوعی قرار گیرد، بسته به شدت آن عوامل، حالت تعادل و خودتنظیمی آن ضعیف شده یا از بین می‌رود (Mirzaei *et al.*, 2015). یکی از عوامل محیطی که می‌تواند بر اکوسیستم جنگل تأثیرگذار باشد، آتش‌سوزی است. آتش‌سوزی با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه و نوع پوشش گیاهی، اثرات متفاوتی دارد که از محاسن آن می‌توان به حذف گیاهان چوبی نامرغوب، افزایش تولید و خوشخوراکی علوفه، آزاد کردن مواد مغذی گیاه و لاشبرگ در خاک، آماده‌سازی بستر برای بذرکاری، کنترل آفات و بیماری‌های قارچی اشاره کرد (Snyman *et al.*, 2004). در مقابل، آتش‌سوزی سبب می‌شود سطح زمین برای مدت طولانی بدون پوشش و در معرض فرسایش قرار گیرد (Savadojo *et al.*, 2007). همچنین آتش با سوزاندن پوشش گیاهی سبب کاهش معنی‌دار گیاهان چوبی، خشبی و بوته‌ای شده و زمینه مساعدی را برای گسترش گیاهان اشکوب زیرین فراهم می‌کند (Wienk *et al.*, 2004). آتش‌سوزی نیز یکی از مهمترین آشفته‌گی‌هایی است که باعث تغییر پوشش گیاهی و عملکرد زیست‌بوم می‌شود (Keeley *et al.*, 2011). آتش‌سوزی می‌تواند نقشی کلیدی در ساختار و عملکرد زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی داشته باشد. تغییر در ساختار و ترکیب پوشش گیاهی یکی از بارزترین آثار آتش‌سوزی بر زیست‌بوم‌های طبیعی می‌باشد (Guevara *et al.*, 1999).

تصاویر ماهواره‌ای از ابزارهای مهم و مؤثر در تعیین مناطق دچار آتش‌سوزی در دنیا هستند. این ابزار و فرآورده‌های آن قابلیت‌های زیادی را برای تعیین مناطق دارای پتانسیل بالا، مناطق دارای سابقه وقوع و حتی پایش روند ریکاوری پس از وقوع آتش هستند. در

سال‌هایی که بارندگی بهاره و سپس، خشکی شدید تابستان و پاییز اتفاق می‌افتد، احتمال وقوع آتش در جنگل‌های زاگرس بیشتر می‌شود. بارندگی‌های بهاره سبب رویش خوب گیاهان یک و چندساله و فقدان بارندگی از خردادماه منجر به افزایش حساسیت به آتش‌سوزی می‌شود. پایش جنگل‌ها برای تشخیص آتش‌ها از فنونی است که در گذشته به کمک روش‌های سنتی از قبیل دیده‌بان، بالگرد و هواپیما انجام می‌شد (Jazirehi, 2005). با ورود فناوری فضایی به عرصه زندگی بشر، تصاویر ماهواره‌ای به تدریج جایگزین روش‌های سنتی شد. تمامی این اقدامات در جهت حضور به موقع نیروهای اطفای حریق در جنگل و به تبع آن کاهش خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی است (Justice *et al.*, 2002). تهیه نقشه شدت آتش‌سوزی‌های بزرگ در سطوح وسیع با استفاده از روش‌های سنتی عموماً دشوار است، به‌خصوص هنگامی که منطقه آتش‌سوزی دارای توپوگرافی پیچیده و شیب‌دار، مناطق دور از دسترس و پوشش گیاهی ناهمگن باشد. یکی از روش‌ها و منابع برای تهیه نقشه شدت آتش‌سوزی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه شاخص‌های طیفی است. در نتیجه آتش‌سوزی پوشش‌های گیاهی، تغییرات طیفی ناشی از عوامل مختلف مانند از بین رفتن کلروفیل، لخت شدن خاک، سوختن ریشه‌ها و تغییر رطوبت رخ می‌دهد (Escuin *et al.*, 2008). البته کاهش کلروفیل به افزایش بازتاب در محدوده مرئی و کاهش آن در محدوده مادون‌قرمز (NIR) منجر می‌شود. همچنین با کاهش تاج‌پوشش درختان و رطوبت خاک، بازتاب در محدوده مادون‌قرمز میانی (SWIR) نیز افزایش می‌یابد (Chuvieco, 2012). با توجه به دلایل ذکرشده، مشخص می‌شود که استفاده از تصاویر طیفی بعد از آتش‌سوزی نمی‌تواند به‌تنهایی در تهیه نقشه دقیق شدت آتش‌سوزی کمک کند؛ بنابراین تهیه و به‌کارگیری داده‌های سنجش از دوری قبل و بعد از آتش‌سوزی و تهیه شاخص‌های

و Tucci (۲۰۱۹) با استفاده از شاخص‌های RBR و RBD تصاویر Sentinel-2 طبقه‌بندی شدت آتش‌سوزی را با نتایج خوبی انجام دادند. به طور کلی شاخص‌های گیاهی در سه دسته شامل شیب‌محور، فاصله‌محور و شاخص‌های تبدیل شده تقسیم‌بندی می‌شوند (Baig *et al.*, 2014). شاخص‌های شیب‌محور، ترکیب ریاضی ساده‌ای هستند که بر تضاد بین الگوی پاسخ طیفی گیاهان در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک در طیف الکترومغناطیسی تمرکز می‌کنند (مانند شاخص NDVI). در مقابل، شاخص‌های فاصله‌محور، مقدار پوشش گیاهی در هر پیکسل را با استفاده از تفاوت بارتاب هر پیکسل از بازتاب خاک لخت اندازه‌گیری می‌کنند (مانند شاخص MSAVI2). همچنین شاخص‌های تبدیلی، گروهی دیگر از شاخص‌های گیاهی هستند که با ترکیب باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای، مؤلفه‌های جدیدی را استخراج می‌کنند که با اجزای مختلف اکوسیستم ارتباط دارند. برای مثال شاخص تبدیل تسلدکپ<sup>۲</sup> با ترکیب ۶ باند از تصویر ماهواره‌ای لندست هشت (OLI)<sup>۳</sup> سه مؤلفه جدید سبزی‌نگی، روشنایی و رطوبت را ایجاد می‌کند (Morrison *et al.*, 1980). دانستن اینکه کدام شاخص یک متغیر محیطی را بهتر برآورد می‌کند، از اهمیت خاصی برخوردار است و در این راستا تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده است. شاخص‌های طیفی، روش‌های سریع و مقرون‌به‌صرفه‌ای را جهت شناسایی و تهیه نقشه‌های مناطق آتش‌سوزی شده ارائه می‌نمایند (Mouillot *et al.*, 2014). نتایج تحقیقات انجام شده با هدف ارزیابی بهترین شاخص‌های سنجش از دور به منظور شناسایی و تفکیک لکه‌های آتش از مناطق مجاور در ایالات یونان واقع در شمال غرب چین با داده‌های ماهواره لندست ۸ نشان داد که از بین شاخص‌های مورد بررسی شاخص MIBI، BAI و TC-Green بهترین نتایج

طیفی دو زمانه اهمیت زیادی در مشخص کردن محدوده آتش و تهیه نقشه شدت آن دارد. در تحقیقات مختلفی از شاخص‌های طیفی متنوعی برای تهیه نقشه مناطق سوخته شده و شدت آتش‌سوزی استفاده شده است. یافتن بهترین زوج باندها برای ایجاد شاخص‌های طیفی که بیشترین تفکیک‌پذیری طبقات شدت آتش‌سوزی را ایجاد کند برای محققان بسیار مهم است. ایجاد به‌کارگیری روش‌ها و شاخص‌های معرفی‌کننده بهترین زوج باندها برای ایجاد شاخص‌های طیفی مؤثر، می‌تواند کمک زیادی کند. به عنوان مثال Roy و همکاران (۲۰۰۶) به منظور بررسی قابلیت شاخص NBR<sup>۱</sup> برای پهنه‌بندی آتش‌سوزی در مناطق مختلف در جهان، یک شاخص آماری به نام شاخص بهینه را ایجاد کردند و اظهار داشتند که شاخص NBR نتیجه متفاوتی را برحسب منطقه نشان داد. Veraverbeke و همکاران (۲۰۱۰) قابلیت شاخص‌های مبتنی بر باندهای حرارتی استخراج‌شده از ماهواره Landsat TM را برای پهنه‌بندی آتش‌سوزی با استفاده از شاخص بهینه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شاخص NBR تفاضلی (دوزمانه) با مقدار شاخص بهینه ۰/۵۱ از شاخص NDVI تفاضلی با مقدار شاخص بهینه ۰/۵ و شاخص NDMI با مقدار شاخص بهینه ۰/۴۱ بهتر عمل کرد. Filipponi (۲۰۱۸) با استفاده از باندهای محدوده مرئی تصاویر Sentinel-2 شاخص BAIS2 را ابداع کرد که براساس آن، به نتایج خوبی برای شناسایی مناطق سوخته شده در ایتالیا در سال ۲۰۱۷ دست یافت. Tran و همکاران (۲۰۱۸) نیز با استفاده از شاخص‌های مختلف تهیه شده براساس تصاویر ماهواره Landsat برای برآورد شدت آتش‌سوزی و بر مبنای شاخص بهینه به این نتیجه رسیدند که این شاخص‌ها در مناطق مختلف، نتایج متفاوتی با ضرایب کاپای ۰/۵ تا ۰/۷ برحسب منطقه ارائه دادند. Lasaponar

3- Operational Land Imager

1- Normalized Burn Ratio

2- Tasseled Cap

جنگل و مرتع و افزایش آتش‌سوزی‌های سالیان اخیر در جنگل‌ها و مراتع زاگرس به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع بیوره شهرستان ملکشاهی با هدف تفکیک و شناسایی مناطق سوخته شده به‌منظور اعمال مدیریت صحیح پس از آتش‌سوزی در مناطق مذکور در جهت کمک به پوشش‌گیاهی با استفاده از تصاویر سنجش از دور انجام گرفت.

## روش کار

### منطقه مورد مطالعه

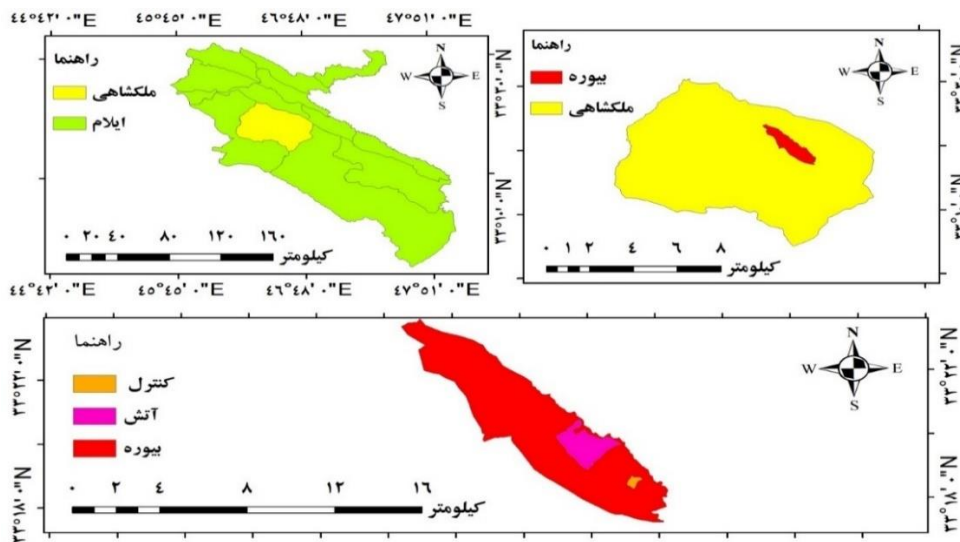
منطقه مورد مطالعه در سامانه عرفی بیوره از توابع شهرستان ملکشاهی در استان ایلام با مساحت ۹۶ هکتار قرار دارد که محدوده جغرافیایی ۶۴۹۸۰۰ تا ۶۵۲۸۰۰ طول شرقی و ۳۶۹۳۵۰۰ تا ۳۶۹۶۰۰ عرض شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع در این منطقه ۱۳۶۷ و حداکثر آن ۱۶۸۷ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه کاملاً پوشیده از جنگل بوده که گونه غالب آن بلوط ایرانی است و سایر گونه‌ها مانند زالزالک، بنه، کیکم و ارژن با آن همراه هستند (Engineering Advisory Firm of Catchment Plan, 2007). به منظور بررسی امکان شناسایی مناطق جنگلی سوخته شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، جنگل‌های منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی انتخاب شد. ابتدا با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود در بخش حفاظت و حمایت اداره کل منابع طبیعی استان ایلام، نسبت به انتخاب مکان آتش‌سوزی و تعیین زمان وقوع آتش‌سوزی (۱۳۸۹/۳/۸) در آن اقدام گردید. سپس در کنار منطقه آتش، منطقه‌ای به عنوان کنترل جهت مقایسه در نظر گرفته شد.

را داشتند (Fornaca et al., 2018). این در حالی است که شاخص‌های NDMI و NBR جهت تفکیک و شناسایی لکه‌های آتش با قدمت یک سال و شاخص‌های TC-Britht و TC-Wet برای لکه‌های آتش با قدمت طولانی‌تر نتایج بهتری را به خود اختصاص دادند. با استفاده از شاخص‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تحقیقی در پارک ملی کانادا شدت آتش‌سوزی در علفزارهای مناطق نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که شاخص‌های NBR و MIRBI در ارزیابی و بررسی شدت آتش‌سوزی و احیای پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی نسبت به سایر شاخص‌های مورد بررسی از قابلیت بهتری برخوردار می‌باشند (Bing et al., 2016). نتایج تحقیقات انجام شده به منظور ارزیابی شاخص‌های طیفی برای شناسایی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده در جنگل‌های از میر ترکیه نشان داد که شاخص‌های  $NDVI^4$ ،  $NBR2^5$  و  $ARVI^6$  از بین شاخص‌های مورد بررسی به ترتیب بهترین توانایی جهت شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده از مناطق مجاور را داشتند (Tonyaloglu, & Atak, 2020). در تحقیقی دیگر، جهت متمایز نمودن مناطق آتش‌سوزی شده با سری‌های مختلف زمانی تصاویر ماهواره‌ای در مناطق ساوانایی از شاخص  $NDVI$  به طور موفقیت‌آمیزی در مقایسه با سایر شاخص‌های طیفی استفاده شده است (Roy et al., 1999). روش مورد استفاده در این مقاله دارای مزایایی از جمله پیش‌پردازش و پردازش سریع، نیاز نداشتن به اطلاعات درست، وابستگی کمتر به تصمیم‌گیری انسان (روش و هدف)، پیاده‌سازی آن در مقیاس منطقه‌ای آسان و موفق است. روش مذکور به دلیل ایجاد رابطه بین مجموع داده‌های بخش‌های گوناگون طیفی، نتایج قابل اعتمادی را در این پژوهش به دست داد. لذا پژوهش حاضر با توجه به اهمیت

6- Atmospheric Resistance Vegetation Index

4- Normalized Difference Vegetation Index

5- Normalized Burn Ratio 2



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان ملکشاهی  
Figure1- Location map of the study area in Malekshahi county

وب سایت <http://www.earthexplorer.usgs.gov>

داده‌های مورد استفاده

مربوط به منطقه مورد مطالعه و با کمترین میزان ابرناکی استفاده شد (جدول ۱).

در پژوهش حاضر و با هدف انجام محاسبه شاخص‌های مرسوم، از تصاویر ماهواره لندست ۵، ۷ و ۸ اخذ شده از

جدول ۱- داده‌های ماهواره‌ای

Table 1- Satellite data

تاریخ برداشت تصویر Acquisition date	مقدار خطای زمین Georeferencing RMSE	درصد ابرناکی Cloud cover (%)	سنجنده Sensor	ماهواره Satellite
2009/5/13	4.816	0.00	TM-5	Landsat
2010/6/25	4.453	0.00	TM-5	Landsat
2013/6/25	5.510	0.00	OLI-8	Landsat
2014/6/17	5.271	0.10	OLI-8	Landsat
2015/6/20	5.089	0.09	OLI-8	Landsat
2016/5/6	5.579	0.84	OLI-8	Landsat
2017/6/9	5.316	0.47	OLI-8	Landsat
2018/5/27	5.763	0.29	OLI-8	Landsat
2019/5/30	5.682	0.21	OLI-8	Landsat
2020/5/17	5.338	0.02	OLI-8	Landsat
2021/5/19	5.899	0.01	OLI-8	Landsat
2022/6/7	6.247	0.08	OLI-8	Landsat
2023/5/17	5.769	0.02	OLI-8	Landsat

گیاهی، از مجموعه داده باندهای خام تصحیح شده لندست ۵ و ۸ استفاده شد. لیست این شاخص‌ها به همراه روابط ریاضی آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

محاسبه شاخص‌های گیاهی مناسب

در این تحقیق برای تهیه شاخص‌های مختلف پوشش

جدول ۲- لیست شاخص‌های طیفی تصاویر لندست به منظور بررسی امکان تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق کنترل

Table 2- The list of indicators of the spectral images for evaluating the possibility of separating the burned areas from the control areas.

منبع	فرمول	مخفف	شاخص
Chuvieco <i>et al.</i> , 2002	$\frac{1}{(0.1+Red)^2 + (0.06+NIR)^2}$	BAI	Burned area index
Key & Benson, 2005	$\frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$	NBR	Normalized burned ratio
Guide, 2017	$\frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}$	NBR2	Normalized Burn Ratio 2
Tucker, 1979	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
Smith <i>et al.</i> , 2007	$\frac{NIR}{SWIR2}$	CSI	Char Soil Index
Baig <i>et al.</i> , 2014	$0.3037Blue+0.2793Green+0.4743Red+0.5585NIR+0.5082Cirrus+0.1863SWIR2$	TC-B	Tasseled Cap Brightness
Baig <i>et al.</i> , 2014	$-0.2848Blue-0.2435Green-0.5436Red+0.7243NIR+0.0840SWIR1-0.1800SWIR2$	TC-G	Tasseled Cap Greenness
Baig <i>et al.</i> , 2014	$0.1509Blue+0.1973Green+0.3279Red+0.3406NIR-0.7112SWIR1-0.4572SWIR2$	TC-W	Tasseled Cap Wetness
Trigg & Flasse, 2001	$(10SWIR2) - (9.8SWIR1) + 2$	MIRBI	Mid infrared burn index
Wilson & Sader, 2002	$\frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	NDMI	Normalized difference moisture index
Holden <i>et al.</i> , 2005	$\frac{NIR - (SWIR2 * THERMAL1)}{NIR + (SWIR2 * THERMAL1)}$	NBRT	Normalized Burn Ratio Thermal
Lu <i>et al.</i> , 2015	$\frac{NIR}{RED}$	SR	Simple Ratio
Martin <i>et al.</i> , 2005	$\frac{1}{(NIR - 0.05*NIR)^2 + (SWIR2 - 0.2 * SWIR2)^2}$	BAIML	Burned Area Index Modified-LSWIR
Martin <i>et al.</i> , 2005	$\frac{1}{(NIR - 0.05*NIR)^2 + (SWIR1 - 0.2 * SWIR1)^2}$	BAIMS	Burned Area Index Modified-sSWIR
Taddeo <i>et al.</i> , 2019	$\frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
Garcia-Llamas <i>et al.</i> , 2019	$\frac{NIR}{Red}$	VI54	Ratio54
Garcia-Llamas <i>et al.</i> , 2019	$\frac{NIR}{SWIR1}$	VI56	Ratio56
Garcia-Llamas <i>et al.</i> , 2019	$\frac{SWIR1}{SWIR2}$	VI67	Ratio67
Smith <i>et al.</i> , 2007	$\frac{(NIR - Red) * THERMAL1}{(NIR + Red) * THERMAL1}$	NDVIT	NDVI-Thermal
Marshall, 2005	$\frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2}$	MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2

RED = باند قرمز، BLUE = باند آبی، Green = باند سبز، NIR = مادون قرمز نزدیک، SWIR1 = مادون قرمز کوتاه، SWIR2 = مادون قرمز کوتاه

THERMAL1 = مادون قرمز حرارتی، THERMAL2 = مادون قرمز حرارتی

$\mu_2$  = میانگین ارزش طیفی منطقه سوخته نشده

$\sigma_1$  = میانگین انحراف معیار منطقه سوخته شده

$\sigma_2$  = میانگین انحراف معیار منطقه سوخته نشده

### تجزیه و تحلیل آماری

مقایسه میانگین شاخص‌های طیفی بین مناطق آتش‌سوزی شده با قدمت ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ سال با استفاده از آزمون T-test مستقل انجام گرفت. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها به ترتیب با نرم‌افزار SPSS 25 و Excel 2016 انجام پذیرفت.

### نتایج

#### مقایسه قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های آتش

#### و کنترل در منطقه بیوره

مقایسه نتایج میانگین قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های مورد بررسی بین آتش و کنترل وجود دارد. به طوری که شاخص‌های NDVI، MSAVI، GNDVI، CSI، BAIMS، BAIML، BAI، NDVIT، NDMI، NBRT، NBR2، NBR، MIRBI، SR، VI56، VI54، TC\_W، TC\_G، TC\_B در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۳ و شکل ۲).

### محاسبه و تعیین شاخص تفکیک‌پذیری مناطق

#### آتش‌سوزی شده از مناطق کنترل

با محاسبه پارامتر آماری M (رابطه ۱) می‌توان قدرت و توانایی هر یک از شاخص‌های طیفی در جداسازی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور را تعیین نمود. پارامتر آماری M بیانگر فاصله طیفی بین پیکسل‌های مناطق سوخته شده و سوخته نشده می‌باشد. پارامتر تفکیک‌پذیری (M) قدرت جداسازی مناطق مذکور را از طریق نسبت تفاضل میانگین ( $\mu$ ) بین شاخص‌های طیفی دو منطقه و مجموع انحراف معیار ( $\sigma$ ) آنها محاسبه می‌نماید (Kaufman, 1994). مقدار M مساوی یک بیانگر تفکیک خوب بین مناطق آتش‌سوزی شده و مناطق مجاور می‌باشد. در واقع هرچه شاخص تفکیک‌پذیری M بیشتر باشد تفکیک مناطق سوخته شده بهتر انجام می‌پذیرد. مقادیر M کمتر از یک نشانگر درجه بالای همپوشانی بین مناطق سوخته شده و سوخته نشده بوده و به معنی تفکیک نامناسب این دو منطقه از یکدیگر است (Smith et al., 2007).

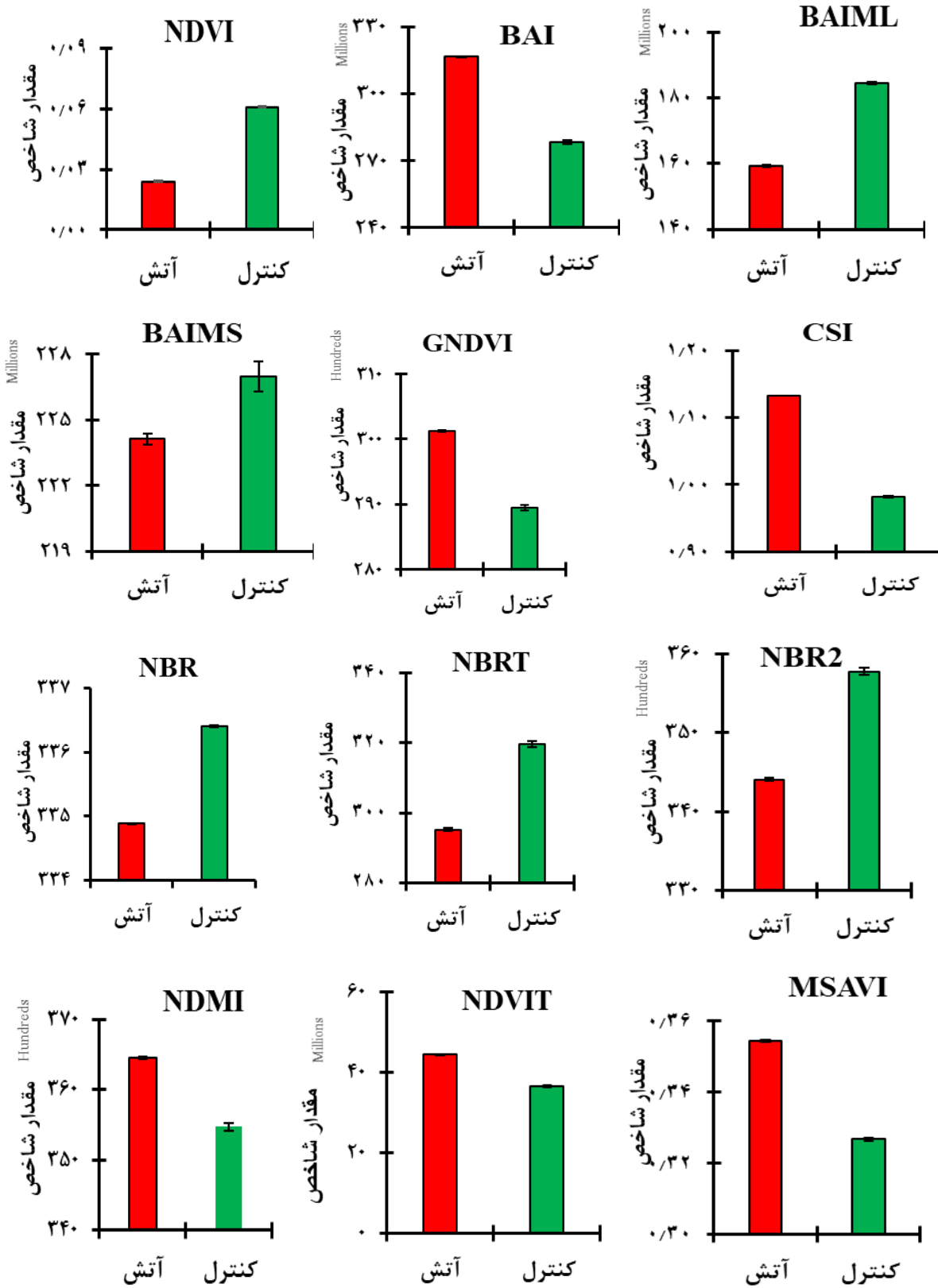
$$M = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (1)$$

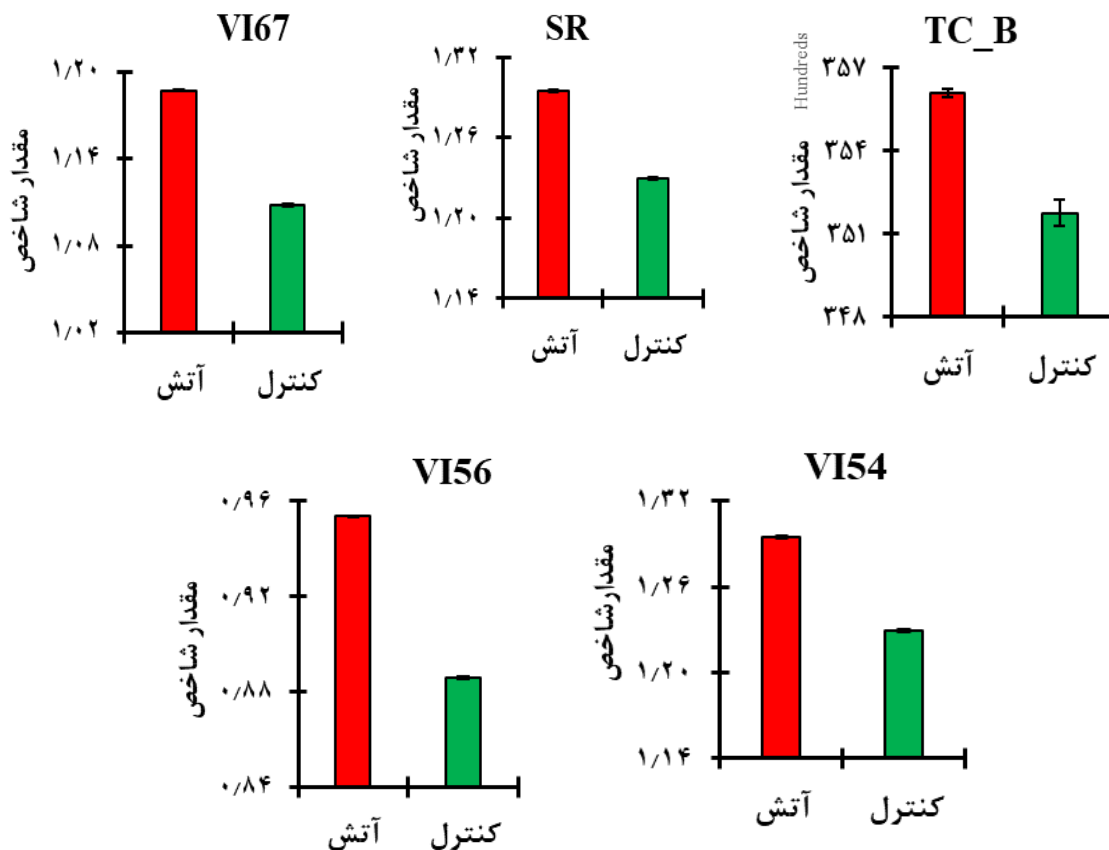
$\mu_1$  = میانگین ارزش طیفی منطقه سوخته شده

#### جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین مقادیر شاخص‌های مورد بررسی بین مناطق آتش‌سوزی شده و کنترل

Table 3- The comparison results of mean values of indicators between fired areas and control areas

P-value	t-value	میانگین شاخص در مناطق کنترل	میانگین شاخص در مناطق آتش	شاخص
0.000	-105.749	0.0606538818 ± 0.0003213087	0.239916279 ± 0.0001302128	NDVI
0.000	43.084	278441686.7 ± 916704.0300	316629362.9 ± 230067.1319	BAI
0.000	-51.873	184655003.5 ± 450506.4068	159320722.6 ± 188590.4107	BAIML
0.000	-3.965	226985400.7 ± 679880.1548	224126994.1 ± 239893.9633	BAIMS
0.000	125.710	0.9818299417 ± 0.0011328626	1.132516114 ± 0.0003917493	CSI
0.000	27.635	28944.54316 ± 40.39624789	30124.17660 ± 11.15586351	GNDVI
0.000	67.126	0.3267562551 ± 0.0004010060	0.3543876453 ± 0.0000929337	MSAVI
0.009	-2.614	33632.45031 ± 44.07886064	33510.69490 ± 15.04903406	NBR
0.000	-26.956	35780.03928 ± 47.23207957	34407.14810 ± 19.05382624	NBR2
0.000	-27.136	319803847.3 ± 844652.3811	295201161.8 ± 329472.1963	NBRT
0.000	17.398	35469.66717 ± 53.82202854	36446.89387 ± 16.07031005	NDMI
0.000	44.969	36533487.82 ± 164742.0584	44465306.55 ± 46139.54877	NDVIT
0.000	82.618	1.229375004 ± .0007084840	1.294428814 ± 0.0003435910	SR
0.000	8.709	35174.73716 ± 47.13633390	35606.77206 ± 15.46118934	TC_B
0.000	82.618	1.229375004 ± 0.0007084840	1.294428814 ± 0.0003435910	VI54
0.000	108.678	0.8858253495 ± 0.0005719749	.9536321409 ± 0.0002492525	VI56
0.000	103.007	1.108095605 ± .0007458105	1.187338030 ± 0.0001886191	VI67





شکل ۲- مقایسه میزان قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های مورد بررسی

Figure2- The comparison of the separability strength of the indicators under study

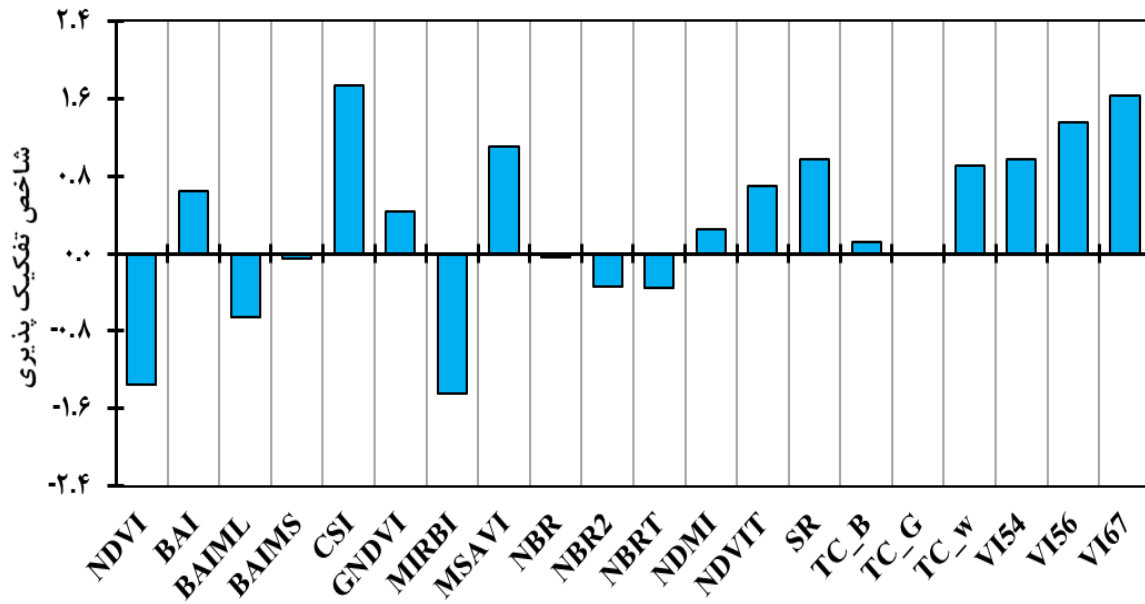
MSAVI به ترتیب با مقادیر ۱/۷۳۴، ۱/۶۳۱، ۱/۳۴۹ و ۱/۱۰۳ از بین شاخص‌های آتش مورد بررسی بیشترین قدرت تفکیک‌پذیری را دارند (شکل ۳). همچنین طبق نتایج به دست آمده از بررسی تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی به منظور تفکیک مناطق با قدمت آتش در نخستین سال آتش‌سوزی چهار شاخص VI67، CSI، VI56 و MSAVI بالاترین قدرت تفکیک‌پذیری را از بین شاخص‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده‌اند و تفکیک مناطق با قدمت آتش ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ ساله شاخص‌های VI56 و CSI بالاترین قدرت تفکیک‌پذیری را از بین شاخص‌های مورد بررسی داشته‌اند (شکل ۴). راهنمای هر شاخص (شکل ۵، ۶، ۷، ۸)، بیان‌گر دامنه تغییرات آن شاخص در سال مورد بررسی

### تفکیک‌پذیری مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور با شاخص‌های آتش

پارامتر آماری (M) قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های آتش را نشان می‌دهد و در صورتی که مقدار این شاخص مساوی عدد یک باشد بیانگر میزان تفکیک‌پذیری خوب شاخص در جداسازی مناطق آتش‌سوزی از مناطق مجاور می‌باشد. همچنین هرچه مقدار این شاخص از عدد یک بزرگتر شود از قدرت بیشتری جهت مجزا نمودن مناطق آتش از مجاور آن برخوردار است (Melchiori et al., 2015). بررسی نتایج تفکیک‌پذیری مناطق سوخته شده از مناطق کنترل با استفاده از پارامتر آماری M نشان می‌دهد که شاخص‌های طیفی CSI، VI67، VI56 و

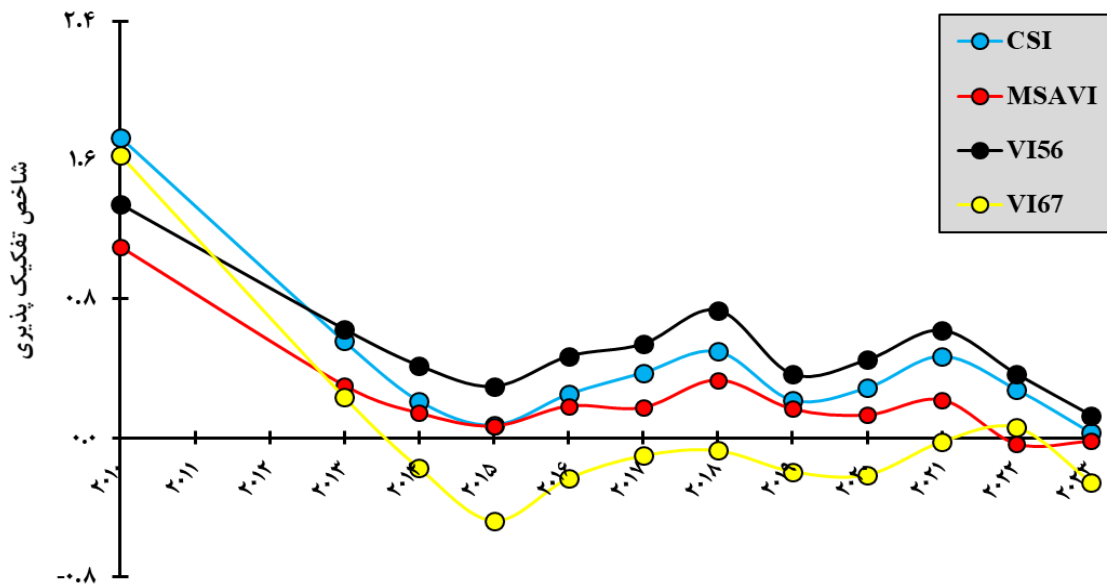
عزیزی و همکاران

است برای مثال در مورد شاخص MSAVI این عدد بین ۱- تا ۱+ تغییر می‌کند.



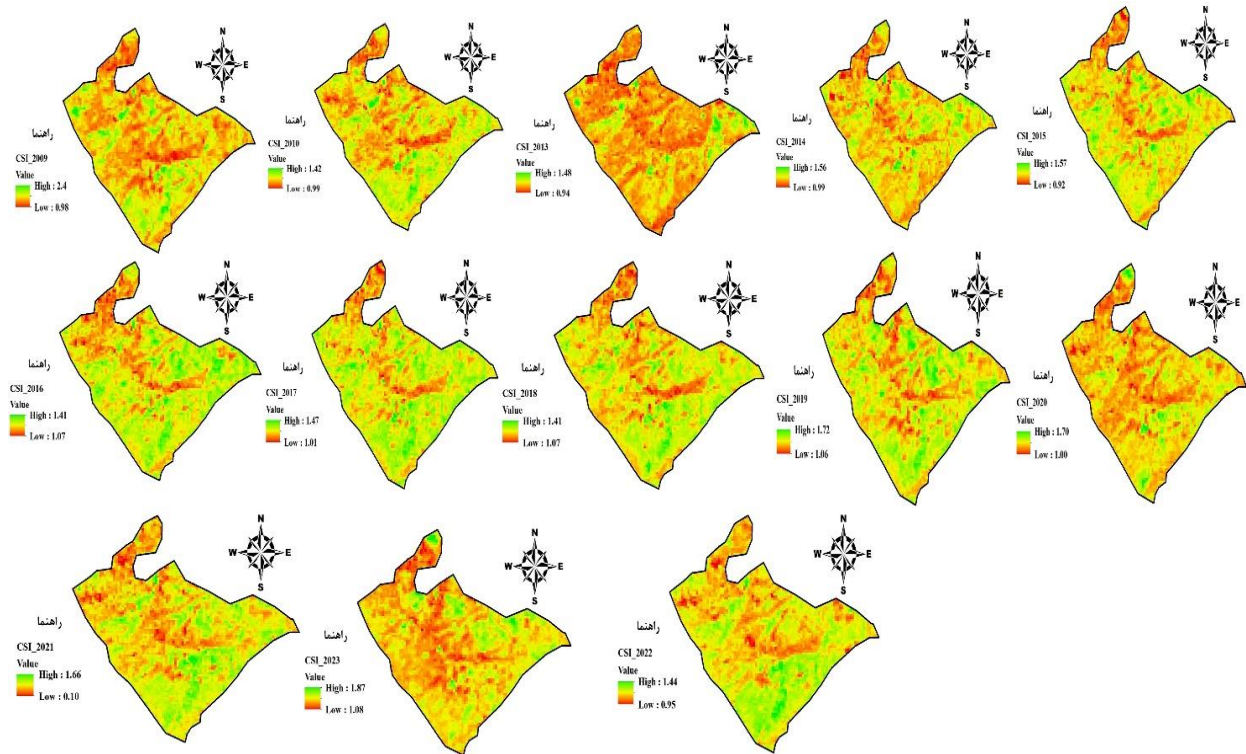
شکل ۳- قدرت تفکیک پذیری شاخص‌های طیفی در دوره‌های زمانی مختلف پس از آتش‌سوزی

Figure 3- Separability strength of spectral indices at different time periods after the fire



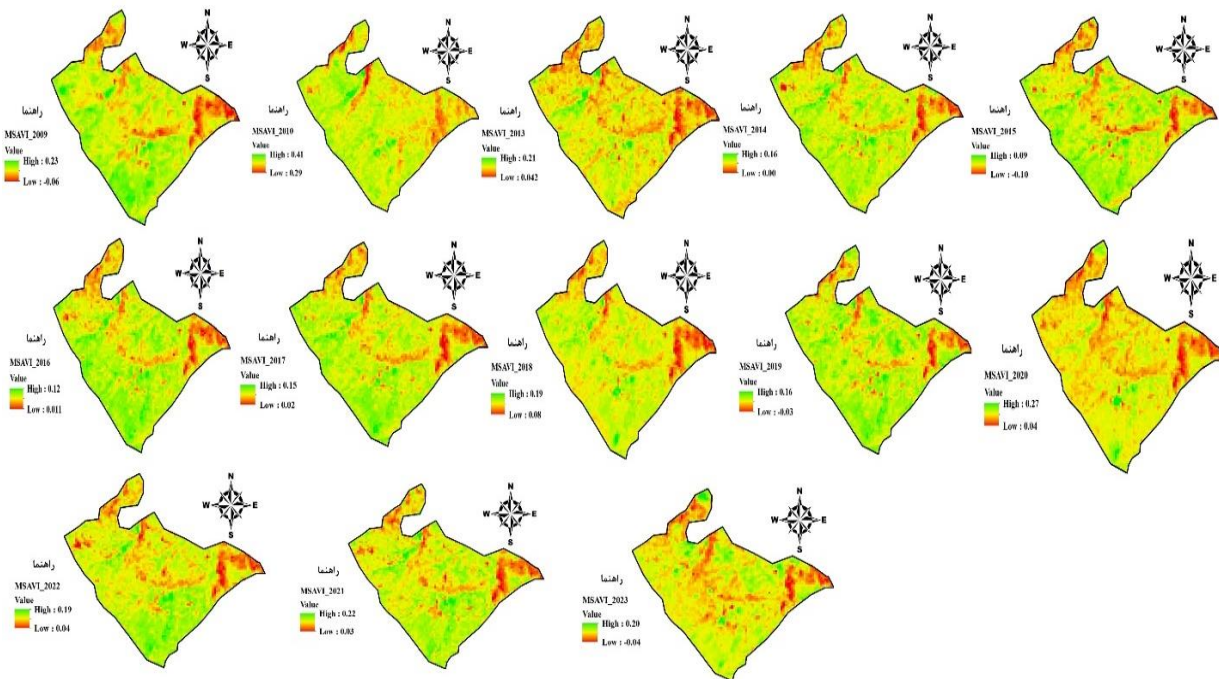
شکل ۴- مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش

Figure 4- The most suitable separability indicators in the time periods after the fire



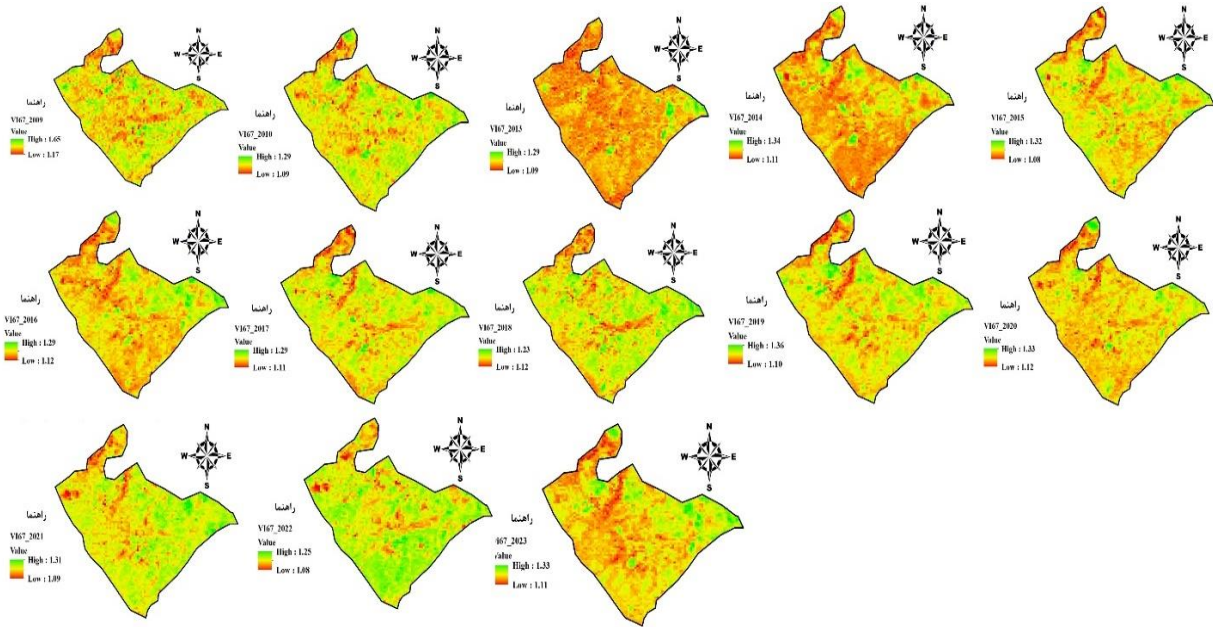
شکل ۵- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (CSI)

Figure 5- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (CSI)



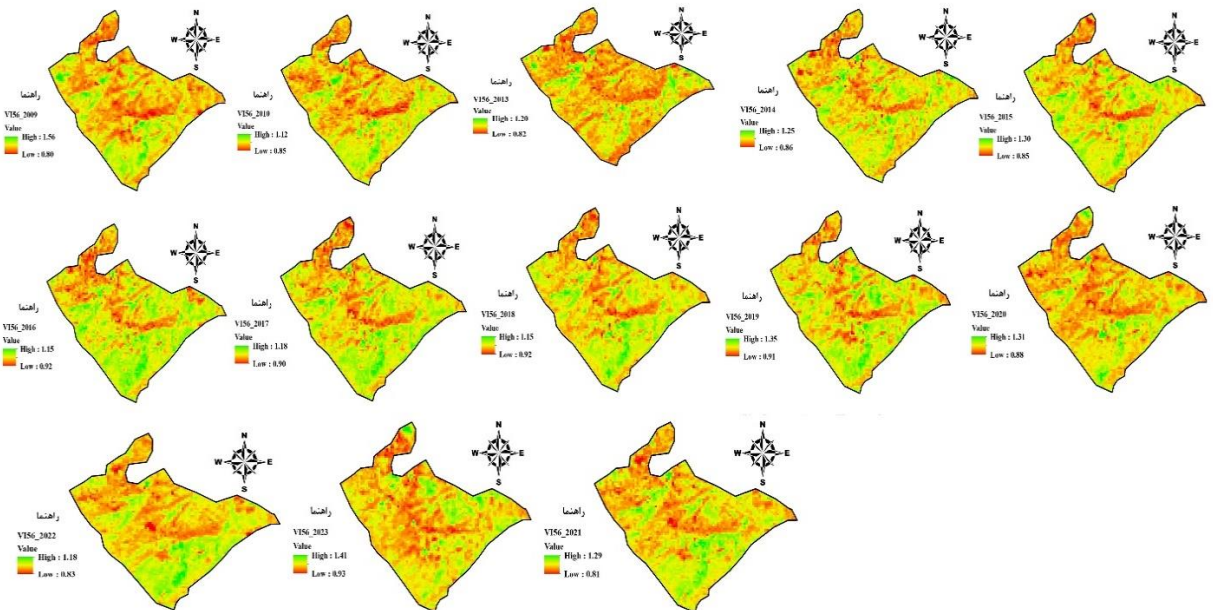
شکل ۶- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (MSAVI)

Figure 6- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (MSAVI)



شکل ۷- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (VI67)

Figure 7- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (VI67)



شکل ۸- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (VI56)

Figure 8- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (VI56)

میلادی بحث شاخص‌های گیاهی و نسبت‌گیری طیفی در محافل علمی مرتبط با سامانه اطلاعات جغرافیایی و دورکاوی مطرح گردید. از آن زمان تاکنون شاخص‌های

بحث

یکی از روش‌ها برای بررسی تغییرات و طبقه‌بندی تصاویر استفاده از شاخص‌های گیاهی است. از اواخر دهه ۷۰

مختلفی مانند NDVI و MSAVI ابداع گردید تا از طریق آنها بتوان روند تغییرات پوشش گیاهی را در طول زمان اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل کرد (Boyd et al., 1996). اساس کار این شاخص‌ها بر روی اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد، دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در کلروفیل است، که باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته و انعکاس شدید در باند مادون قرمز نزدیک داشته باشند (Fatemi, 2014). شاخص‌های گیاهی از پرکاربرترین نمونه‌های محاسبات باندهای می‌باشند که به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی و وضعیت سبزی‌نگی یک منطقه طی دوران مختلف بکار می‌روند. شاخص‌های گیاهی اساساً به صورت کسری یا خطی، باندهای رادیومتری را ترکیب می‌کنند. برای بررسی دقیق پوشش گیاهی و حتی تعیین نوع پوشش در آنها نمی‌توان از یک شاخص گیاهی به‌تنهایی استفاده کرد و استفاده از چند شاخص در کنار یکدیگر و همچنین استفاده از اطلاعات جانبی از منطقه مورد مطالعه بسیار مفید و نتیجه‌بخش خواهد بود (Rahmani, 2011). پژوهش حاضر به منظور بررسی توانایی شاخص‌های طیفی سنجش از دور در تفکیک‌پذیری مناطق آتش‌سوزی شده جنگلی و مرتعی بیوره شهرستان ملکشاهی طی دوره‌های مختلف زمانی پس از وقوع آتش‌سوزی انجام گردید. با توجه به اثرات آتش‌سوزی بر آشکارسازی تغییرات پوشش سطح زمین به خصوص پوشش گیاهی مراتع و قابلیت خصوصیات طیفی باندهای سنجنده ماهواره لندست ۸ و نسبت‌گیری بین باندهای طیفی و حرارتی در ارتباط با تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق کنترل از شاخص‌های طیفی استفاده شد. در این مطالعه توان ۲۰ شاخص گیاهی در تشخیص تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی مورد مقایسه قرار گرفت. انتخاب بهترین و حساس‌ترین شاخص طیفی از ماهواره‌هایی با اندازه تفکیک‌های مکانی متفاوت، نیازمند

انجام مطالعات گسترده در اکوسیستم‌های طبیعی نظیر جنگل‌ها و مراتع می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر در خصوص تعیین قدرت تفکیک‌پذیری مناطق سوخته‌شده از مناطق کنترل با ۲۰ شاخص طیفی محاسبه شده در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی مشخص شد که تعدادی از این شاخص‌ها قادر به تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده در همان سال اول وقوع آتش‌سوزی هستند. طبق نتایج به دست آمده از بین شاخص‌های طیفی مورد بررسی شاخص‌های CSI، VI67، VI66 و MSAVI توانایی بالاتری در تشخیص مناطق سوخته شده از مناطق کنترل در سال اول آتش‌سوزی را نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارا می‌باشند. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مشخص گردید که بهترین شاخص‌های طیفی با کارایی بالا جهت تفکیک مناطق سوخته شده با دوره‌های ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ ساله، شاخص‌های طیفی VI66 و CSI می‌باشند. نتایج تحقیقات انجام شده توسط Chuvieco و همکاران (۲۰۰۲) نشان می‌دهد که از بین شاخص‌های طیفی مورد بررسی جهت تفکیک مناطق سوخته شده، بهترین و کارآمدترین شاخص‌ها، شاخص‌هایی بودند که جهت تشخیص مناطق آتش‌سوزی شده بر تغییرات پوشش سبز گیاهی و رطوبت خاک تمرکز داشتند. شاخص‌های مذکور به‌طور معمول از باندهای سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی و باند حرارتی بهره می‌گیرند. به نظر می‌رسد یکی از دلایل توانایی برخی از شاخص‌های طیفی در قدرت تفکیک‌پذیری بالاتر در مقایسه با سایر شاخص‌ها این باشد که پس از آتش‌سوزی به سرعت بازتاب باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR1,2) به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند و بر همین اساس برخی از شاخص‌های طیفی مبتنی بر این باندها توانایی تفکیک مناسب مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق کنترل را دارا هستند و برای

مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور می‌توانند دقت شناسایی و تفکیک بالایی را داشته باشند. Mohammadian (۲۰۲۳) نشان دادند که از بین شاخص‌های طیفی مورد بررسی شاخص VI56 توانایی بالاتری در تشخیص مناطق سوخته‌شده مرتعی از مناطق مجاور در دوره‌های زمانی ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی را نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارا می‌باشد. Carreiras و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که شاخص گیاهی MSAVI در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در مقایسه با سایر شاخص‌ها، برتری دارد. در شاخص MSAVI باند ۵ (مادون قرمز نزدیک) وجود دارد که به صورت مخفف NIR نامیده می‌شود. این طیف برای اکولوژی مهم است زیرا سلامت گیاهان را نشان می‌دهد. آب موجود در برگ‌های گیاهان طول موج‌ها را به سمت آسمان پراکنده کرده و گیاهان در این باند بیشترین بازتاب را دارند. این شاخص قابلیت بالایی در تشخیص آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه را نشان داد. در واقع با توجه به معادله ریاضی فرمول شاخص MSAVI که از مولفه‌های باند قرمز (RED) و باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و ضرایب تجربی بازتاب خاک زمینه تشکیل شده است، مشخص گردید که این شاخص به‌طور مشهودتری قادر به نمایان‌سازی اختلافات پوشش گیاهی در مطالعه حاضر می‌باشد. در واقع شاخص MSAVI، شاخصی است که بازتاب خاک زمینه را در نظر می‌گیرد؛ بنابراین به نظر می‌رسد که به همین دلیل قادر است که تغییرات را در دوره‌های مختلف پس از آتش، بهتر نمایان نماید. بطور کلی، هدف از ارائه نقشه‌ی شاخص‌ها مشاهده تغییرات زمانی پوشش گیاهی در سال‌های پس از وقوع آتش‌سوزی است. با توجه به افزایش فراوانی گیاهان یکساله در سال‌های اول پس از آتش انتظار بر این است که شاخص‌های تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های اولیه مقدار بالاتری را نشان دهند (مقدار حداکثر شاخص MSAVI در سال ۲۰۱۰ برابر ۰/۴۱ است) در حالی که

تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق مجاور مناسب و کارآمد می‌باشند (Miller & Quayle, 2015). امروزه تحقیقات نشان داده است که کاربرد ترکیبی باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز با طول موج بلند (باندهای حرارتی: TIRS) و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1,2) در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور می‌تواند دقت شناسایی و تفکیک را افزایش دهد (Veraverbeke *et al.*, 2011). موفق‌آمیز بودن کاربرد ترکیبی باندهای مذکور با نتایج این پژوهش در زمینه توانایی بالای شاخص‌های CSI، VI67، VI56 و MSAVI همخوانی دارد. بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر شاخص CSI بهترین شاخص طیفی با کارایی بالا جهت تفکیک مناطق سوخته‌شده با دوره‌های ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی شناخته شد. این شاخص از باندهای ۵ (باند مادون قرمز نزدیک) و ۷ (باند مادون قرمز طول موج کوتاه) تشکیل شده است. کاربرد ترکیبی این باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1,2) در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور می‌تواند دقت شناسایی و تفکیک را افزایش دهند. Mohammadian و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی مناطق سوخته‌شده در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری به این نتیجه رسید که شاخص‌های VI56، CSI، NDMI، NBR، NBR، NDVI و توانایی بالاتری در تشخیص مناطق سوخته‌شده عرصه‌های مجاور در دوره‌های زمانی ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی را نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارا می‌باشند. همچنین طبق نتایج به دست آمده بهترین شاخص طیفی با کارایی بالا جهت تفکیک مناطق سوخته‌شده با دوره‌های ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی شاخص طیفی VI56 است. در این شاخص از باندهای ۵ و ۶ استفاده شده که در شناسایی و تفکیک

است که با گذشت زمان (فصل رویش) پس از آتش‌سوزی بطور کلی پوشش گیاهی تحت تأثیر توالی ثانویه احیا و به طرف شرایط پیش از آتش‌سوزی و مرحله کلیماکس پیش می‌رود. همچنین در صورت مساعد بودن شرایط محیطی و مدیریتی این پیشروی نمایان‌تر شده و عملاً شناسایی محدوده‌های متأثر از آتش‌سوزی دشوارتر می‌شود؛ بنابراین از توانایی شاخص‌های طیفی جهت شناسایی و تفکیک محدوده‌های آتش در مناطق با دوره‌های ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ سال در مقایسه با ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی به مراتب کاسته می‌شود.

در سال‌های بعد و با ورود گونه‌های بوته‌ای و شروع بازیابی پوشش گیاهی مقدار شاخص طبیعتاً کاهش می‌یابد که بر اساس نتایج به دست آمده در سال‌های بعد مقدار این شاخص کاهش یافته است. این نتایج به طور مشابهی در سایر شاخص‌ها هم به دست آمده است.

## نتیجه‌گیری

نتایج تحقیقات انجام شده در خصوص پایش تغییرات پوشش گیاهی در دوره‌های زمانی مختلف پس از آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگل و مرتع بیانگر این نکته

## References

- Atak, B.K., & Tonyaloglu, E.E. (2020). Evaluating spectral indices for estimating burned areas in the case of Izmir/Turkey. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8(1), 63-73. <https://doi.org/10.3195/ejefjs.657253>
- Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T., & Tong, Q. (2014). Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5), 423-431. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.915434>
- Bing, L.U., Yuhong, H.E., & Alexander, T. (2016). Evaluation of spectral indices for estimating burn severity in semiarid grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 25, 147-157. <https://doi.org/10.1071/WF15098>
- Boyd, D.S., Foody, G.M., Curran, P.J., Lucas, R.M., & Honzak, M. (1996). An assessment of radiance in Landsat TM middle and thermal infrared wavebands for the detection of tropical forest regeneration. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 249-261. <https://doi.org/10.1080/01431169608949003>
- Carreiras, J.M., Pereira, J.M., & Pereira, J.S. (2006). Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. *Forest ecology and management*, 223(1-3), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.056>
- Chuvieco, E. (2012). Remote sensing of large wildfires: in the European Mediterranean Basin. *Springer Science & Business Media*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60164-4-3>
- Chuvieco, E., Martin, M.P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing* 29(4), 1053-1073. <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- Fatemi, S., & Rezaei, Y. (2014). *Fundamentals of remote sensing*, 259 p.
- Filipponi, F. (2018). BAI52: Burned Area Index for Sentinel-2. *2nd International Electronic Conference on Remote Sensing*, 22 March–5 April, 2018. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05177>
- Fornaca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2018). Evaluating the Best Spectral Indices for the Detection of Burn Scars at Several Post-Fire Dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan. China. *Journal of Remote Sensing*, 10(8), 4-21. <https://doi.org/10.3390/rs10081196>

- Guevara, J.C., Stasi, C.R., Wuilloud, C.F., & Estevez, O.R. (1999). Effects of fire on rangeland vegetation in southwestern Mendoza plains Argentina: composition, frequency, biomass, productivity and carrying capacity. *Journal of Arid Environments*, 41(1), 27-35. <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0463>
- Jazirehi, M.H. (2005). forest conservation. first edition. Tehran University Publishing and Printing Institute, 231 pages.
- Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J.T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., & Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 244-262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)
- Kaufman, Y.J., & Remer, L.A. (1994). Detection of Forests Using Mid-IR Reflectance: An Application for Aerosol Studies. *IEEE transactions on geoscience and Sensing*, 32, 672-683. <https://doi.org/10.1109/36.297984>
- Keeley, J.E., Pausas, J.G., Rundel, P.W., Bond, W.J., & Bradstock, R.A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, 16(8), 406-411. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.04.002>
- Lasaponara, R., & Tucci, B. (2019). Identification of Burned Areas and Severity Using SAR Sentinel-1. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(6), 917-921. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2888641>
- Melchiori, A.E., Candido, P., Libonati, R., Morelli, F., Setzer, A., de Jesus, S.C., Garcia Fonseca, L.M., & Korting, T.S. (2015). Spectral indices and multi-temporal change image detection algorithms for burned area extraction in the Brazilian Cerrado. In *Proceedings of the Anais XVII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR. Joao Pessoa-PB, Brasil*, 25-29 April 2015, 643-650. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4314.2562>
- Miller, J. D., & Quayle, B. (2015). Calibration and validation of immediate post-fire satellite-derived data to three severity metrics. *Fire Ecology*, 11(2), 12-30. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1102012>
- Mirzaei, J., Mohamadi, A., Heidarizadi, Z., Noorolahi, H., & Omidipour, R. (2015). Assessment of land cover changes using RS and GIS (case study: Zagros forests, Iran). *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 6, 2565-2572.
- Morrison, I.M. (1980). Changes in the lignin and hemicellulose concentrations of ten varieties of temperate grasses with increasing maturity. *Grass Forage Science*, 35, 93-287. <https://doi.org/10.1111/j.13652494.1980.tb01525.x>
- Mouillot, F., Schultz, M.G., Yue, C., Cadule, P., Tansey, K., Ciais, P., & Chuvieco, E. (2014). Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 64-79. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.014>
- Mohammadian, A. (2023). *The interaction effects of fire and grazing on diversity characteristics in grassland landscapes*. Ph.D. Dissertation. Faculty of Natural Resources and Earth Sciences Shahrekord, Shahrekord University.
- Mohammadian, A., Asadi Borujeni, E., Ebrahimi, A., Tahmasebi, P., & Naghypour borj, A. A. (2022). Capability of derived vegetation indices from remotely sensed data for burned area discrimination in semi-steppic rangeland (case study of CHB province, Iran). *Journal of Range and Watershed Management*, 74(4), 837-850. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2021.323095.1588>
- Rahmani, N., Shahidi, K., & Miriaqubzadeh, M.H. (2011). Evaluation of vegetation indicators used in environmental monitoring (case study: Harsik Basin). The conference Geomatics90, the country mapping organization, Tehran, Iran. <https://doi.org/civilica.com/doc/151301>
- Roy, D.P., Boschetti, L., & Trigg, S.N. (2006). Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1), 112-116. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.858485>
- Roy, D.P., Giglio, L., Kendall, J.D., & Justice, C.O. (1999). Multi-temporal activefire based burn scar detection algorithm. *International*

- Journal of Remote Sensing*, 20, 1031–1038.  
<https://doi.org/10.1080/014311699213073>
- Savadogo, P., Sawadogo, L., & Tiveau, D. (2007). Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 80-92.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.002>
- Smith, A.M.S., Drake, N.A., Wooster, M.J., Hudak, A.T., Holden, Z.A., & Gibbons, C.J. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: Comparison of methods and application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2753–2775.  
<https://doi.org/10.1080/01431160600954704>
- Snyman, H. A. (2004). Soil seed bank evaluation and seedling establishment along a degradation gradient in a semi-arid rangeland. *African Journal of Rangelands*, 21(1), 37-47.  
<https://doi.org/10.2989/10220110409485832>
- Tran, B., Tanase, M., Bennett, L., & Aponte, C. (2018). Evaluation of spectral indices for assessing fire severity in Australian temperate forests. *Remote Sensing*, 10(11), 1680.  
<https://doi.org/10.3390/rs10111680>
- Veraverbeke, S., Harris, S., & Hook, S. (2011). Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2702-2709.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.010>
- Veraverbeke, S., Verstraeten, W.W., Lhermitte, S., & Goossens, R. (2010). Evaluating Landsat Thematic Mapper spectral indices for estimating burn severity of the 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *International Journal of Wildland Fire*, 19(5), 558-569.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.10.004>
- Wienk, C.L., Sieg, C.H., & McPherson, G.R. (2004). Evaluating the role of cutting treatments. fire and soil seed banks in an experimental framework in ponderosa pine forests of the Black Hills, South Dakota. *Forest Ecology and Management*, 192, 375–393.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.004>

## Content

**Comparative analysis of watershed health and sustainability assessment models and indicators with a focus on improving management decision-making**

Ehsan Fathi, Ali Talebi, Mohammadreza Ekhtesasi, Jamal Mosaffaie

1-18

**Variability in health zoning due to applying different methods for averaging pressure, state, and response indices in the Baladeh-e-Noor watershed, Iran**

Seyed Hamidreza Sadeghi, Elnaz Ghabelnezam, Forough Ahmadinejad Baghban, Mostafa Zabihi Silabi, Reza Chamani

19-36

**An overview of the effects of climate change on watersheds and adaptation strategies**

Maryam Rezaei

37-58

**Dynamic analysis of organizational stakeholders' cohesion and determination of land governance systems: Application of Social Network Analysis**

Mehdi Ghorbani, Seyed Amirhossein Garakani, Sedigheh Ghafari, Leila Avazpour, Majid Rahimi

59-78

**Predicting the effect of biological measures on flood generation in the Behesht Abad watershed using machine learning methods**

Fariba Darabi, Ali Najafinejad, Hamidreza Pourghasemi, Amir Sadoddin

79-96

**Comparison of the Facebook's Prophet, Thornthwaite, and Blaney-Criddle Models for daily evapotranspiration time series forecasting (Case study: Aleshtar county)**

Hafez Mirzapour, Ali Haghizadeh, Shohkufe Hasanvand, Leila Ghasemi

97-111

**Zoning forest fire risk in semi-arid oak forests of Zagros using fuzzy hierarchical model (FAHP)**

Negin Bozorgmehr, Katayoon Varshosaz, Sina Attarroshan, Soolmaz Dashti, Neda Orak

112-128

**Investigation the efficiency remotely sensed indices in identification and separation of burned areas (Case study: Bivareh forest, Malekshahi county, Ilam Province)**

Kobra Azizi, Abdolali Karamshahi, Reza Omidipour

129-146



# Integrated Watershed Management

Vol: 5, No: 1. Spring 2025

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



Ilam University



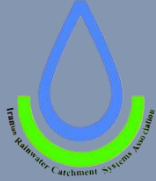
Address: **Deputy of Research and Technology, Ilam University, Pajoohesh Bolvd, Ilam- Iran**

P.O. Box: **69317-516**

Telefax: **0843222703**

Email: **iwm@ilam.ac.ir**

Web Site: **www.iwm.ilam.ac.ir**



# Integrated Watershed Management



Ilam University

Vol: 5, No: 1. Spring 2025

Online ISSN: 2783-4581

**Comparative analysis of watershed health and sustainability assessment models and indicators with a focus on improving management decision-making**

Ehsan Fathi, Ali Talebi, Mohammadreza Ekhtesasi, Jamal Mosaffaie

1-18

**Variability in health zoning due to applying different methods for averaging pressure, state, and response indices in the Baladeh-e-Noor watershed, Iran**

Seyed Hamidreza Sadeghi, Elnaz Ghabelnezam, Forough Ahmadinejad Baghban, Mostafa Zabihi Silabi, Reza Chamani

19-36

**An overview of the effects of climate change on watersheds and adaptation strategies**

Maryam Rezaei

37-58

**Dynamic analysis of organizational stakeholders' cohesion and determination of land governance systems: Application of Social Network Analysis**

Mehdi Ghorbani, Seyed Amirhossein Garakani, Sedigheh Ghafari, Leila Avazpour, Majid Rahimi

59-78

**Predicting the effect of biological measures on flood generation in the Behesht Abad watershed using machine learning methods**

Fariba Darabi, Ali Najafinejad, Hamidreza Pourghasemi, Amir Sadoddin

79-96

**Comparison of the Facebook's Prophet, Thornthwaite, and Blaney-Criddle Models for daily evapotranspiration time series forecasting (Case study: Aleshtar county)**

Hafez Mirzapour, Ali Haghizadeh, Shohkufe Hasanvand, Leila Ghasemi

97-111

**Zoning forest fire risk in semi-arid oak forests of Zagros using fuzzy hierarchical model (FAHP)**

Negin Bozorgmehr, Katayoon Varshosaz, Sina Attarroshan, Soolmaz Dashti, Neda Orak

112-128

**Investigation the efficiency remotely sensed indices in identification and separation of burned areas (Case study: Bivareh forest, Malekshahi county, Ilam Province)**

Kobra Azizi, Abdolali Karamshahi, Reza Omidipour

129-146