



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



سال چهارم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

ارائه الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در ایران

حسین مسافری ضیاءالدینی، احسان تمسکی، سیدمحمد تاج‌بخش فخرآبادی، علی‌اصغر کدیور،
مهدی بی‌نیاز، ناصر خیاط‌خلقی

۱-۱۷

بررسی تغییرات پوشش گیاهی متاثر از خشکسالی در جنوب استان کرمان

سعید برخوردار، مجتبی دولت‌کردستانی، کیمیا جواهری

۱۸-۳۱

پیش‌بینی جریان تحت تأثیر تغییر اقلیم بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: سد دز)

فهیمة خادم‌پور، مهدی امیرآبادی‌زاده، یاشار فلامرزی

۳۲-۵۰

تحلیل فضایی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان به منظور برنامه‌ریزی کاربری پایدار زمین در استان چهارمحال و بختیاری

فاطمه محمدیاری، خدایار عبدالمهدی

۵۱-۶۵

تغییرات الگوی مکانی تاج بارش توده‌های طبیعی و دست کاشت در زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی چغاسبز ایلام)

اسماعیل اللهی‌نژاد، مهدی حیدری، جواد میرزائی، امید فتحی‌زاده

۶۶-۸۰

بررسی روند و تبیین پیشران‌های کلیدی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در تالاب صالحیه و شوره‌زار دشت مرکزی قزوین

هادی اسکندری‌دامنه، یاسر قاسمی آریان

۸۱-۹۳



مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال چهارم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

۲۷۸۲-۴۵۸۱

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

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



فهرست

ارائه الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در ایران

حسین مسافری ضیاءالدینی، احسان تمسکی، سیدمحمد تاجبخش فخرآبادی، علی اصغر کدیور، مهدی بی‌نیاز، ناصر خیاط‌خلقی

۱-۱۷

بررسی تغییرات پوشش گیاهی متاثر از خشکسالی در جنوب استان کرمان

سعید برخوردار، مجتبی دولت‌کردستانی، کیمیا جواهری

۱۸-۳۱

پیش‌بینی جریان تحت تأثیر تغییر اقلیم بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: سد دز)

فهیمة خادم‌پور، مهدی امیرآبادی‌زاده، یاشار فلامرزی

۳۲-۵۰

تحلیل فضایی خدمات فرهنگی بوم سازگان به منظور برنامه ریزی کاربری پایدار زمین در استان چهارمحال و بختیاری

فاطمه محمدیاری، خدایار عبدالهی

۵۱-۶۵

تغییرات الگوی مکانی تاج بارش توده‌های طبیعی و دست کاشت در زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی چغاسبز ایلام)

اسماعیل اللهی‌نژاد، مهدی حیدری، جواد میرزائی، امید فتحی‌زاده

۶۶-۸۰

بررسی روند و تبیین پیشران‌های کلیدی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در تالاب صالحیه و شوره‌زار دشت مرکزی قزوین

هادی اسکندری‌دامنه، یاسر قاسمی آریان

۸۱-۹۳

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) امکان‌پذیر است.

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

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

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

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

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

۲-۲-۱. چکیده مبسوط انگلیسی

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

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

۲-۲-۲. چکیده مبسوط فارسی

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

۲-۲-۳. واژه‌های کلیدی

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

۲-۲-۴. مقدمه

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

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

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

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

۲-۲. سبک نگارش بخش‌های مختلف مقالات

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

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

۲-۸. نتیجه‌گیری کلی

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

۲-۹. سپاسگزاری

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

۲-۱۰. نحوه ارجاع به منابع در متن

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

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

۲-۴-۱. استفاده از اختصارات انگلیسی و فارسی در متن مقاله ایرادی ندارد؛ اما باید معادل فارسی و انگلیسی کامل آن در اولین باری که در متن آمده است، به صورت زیرنویس نوشته شود.

۲-۵. مواد و روش‌ها

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

۲-۶. نتایج

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

۲-۷. بحث

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

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

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

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

الف) کتاب

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

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

ب) کتاب ترجمه شده

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

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

ج) مقالات نشریات

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

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

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

Rostami (۲۰۱۴) گزارش کرد

Mohseni Saravi و Rostami (۲۰۰۶) گزارش کردند

Rostami و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند

۲-۱۱. منابع پایانی

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

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

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

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

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

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

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

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

د) نمونه تنظیم یک سند از یک کنفرانس

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

۳. شکل ظاهری مقاله

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

۳-۲. لازم است متن فارسی مقاله با قلم B Nazanin 13 و متن لاتین با قلم Times New Roman 11 نوشته شود. متن چکیده فارسی با قلم B Nazanin 10 Bold

نوشته شود. عنوان اصلی مقاله با قلم B Titr 14 و سایر عنوان‌ها با قلم B Nazanin 14 Bold تنظیم شوند. منابع پایانی با قلم Times New Roman 11 نوشته شوند.

عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی (B Nazanin 11 به صورت Bold) و انگلیسی (Times New Roman 10 به صورت Bold) نوشته شود. اعداد داخل جدول‌ها به صورت انگلیسی (Times New Roman 9) نوشته شوند و سایر اطلاعات داخل شکل‌ها و جداول به دو صورت فارسی (B Nazanin 10) و انگلیسی (Times New Roman 9) نوشته شوند.

۳-۳. شکل‌ها و جدول‌ها

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

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

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

د) پایان‌نامه و رساله

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

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

ه) مجموعه مقالات

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

و) کتاب منتشرشده در سازمان‌ها یا نهادها

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

ز) وبگاه اینترنتی

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

۴.۱ ارسال مقاله

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Presenting a process-based model for integrated watershed management in Iran

Hossin Mosaferei Zeyaaldine¹, Ehsan Tamassoki^{2*}, Seyed Mohamad Tajbakhsh Fakhrabadi³, Aliasghar Kadivar⁴, Mehdi Biniiaz², Nasser Khayyat Kholghi⁵

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

2. Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, I. R. Iran

4. Department of Geography, Payam Noor University of Mashhad, Mashhad, Iran.

5. Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Hacettepe University, Ankara, Turkey

* Corresponding author: ehsantamasoki@yahoo.com

(Received: 14 May 2024

Revised: 23 Jun 2024

Accepted: 07 July 2024)

Extended Abstract

Introduction: Despite the increasing trend of crises related to natural resources, it is important to provide a model for integrated management in watershed areas that is accepted by experts, brokers, policymakers, and planners of the country. Watersheds face a series of risks, each of which alone can cause environmental, economic, and social crises. Developing an integrated management model for watersheds is necessary because, without such a model, it will not be possible to achieve comprehensive management of watersheds. Applying this model can lead to organizational coherence and cohesion, improving the health and resilience of the area, coordination of decision-making institutions, improving the effectiveness of policies and laws, adaptation of watershed residents to environmental changes, resolving conflicts, wide participation of stakeholders, and finally achieving sustainable governance in watershed areas.

Materials and Methods: This research, which is practical in its purpose and descriptive-analytical in its nature and method, involved field investigations, analysis of policy documents, and library resources related to integrated watershed management models. A decision-making institution is proposed alongside a process-based model for integrated watershed management, consisting of six steps. Process models are designed based on field and experimental investigations, goals, time, and place scales, and the needs and concerns of stakeholders. The steps of preparing this process model include: 1) examining and understanding the current situation, 2) identifying strengths, weaknesses, opportunities, and threats, 3) zoning sub-areas, 4) participatory planning and decision-making, 5) monitoring and evaluation, and 6) adaptive management and conflict resolution. The ideal goals were explained with stakeholder participation, and the proposed model was designed by forming a panel of experts.

Results and Discussion: Based on the results of previous models, one of the challenges in implementing integrated management is the lack of organizational coherence and the absence of a centralized decision-making body. Before presenting the process model for integrated management, a decision-making body called the "Strategic Watershed Management Council" is suggested. This council would consist of governmental institutions, non-governmental organizations, influential political institutions and individuals, universities and research centers, elected representatives of the Islamic councils of the city and village, and a consultant for developing a strategic plan for the watershed's management. This council will be responsible for decision-making, coordination, and supervision, ignoring political borders within the natural boundaries of the area. The council will be formed by the Natural Resources and Watershed Management Organization of the country for each secondary watershed. To strengthen inter-organizational cohesion, the council's chairmanship will be held by the plenipotentiary representative of the governor, located in the General Directorate of Natural Resources of the province. The organizational chart and implementation process of the proposed integrated watershed management have also been presented to this council. According to this model, after selecting the consultant for developing the strategic plan, and forming the strategic council, the first to fourth steps of the process model are carried out by the consultant in interaction with the strategic council, followed by the completion of the fifth and sixth steps.

Conclusion: Watersheds often have diverse capacities of natural and human resources. However, they suffer from limitations caused by conflicts of interest at different decision-making levels. The results of this research can be used as a suitable, accurate, scientific, and systematic model for comprehensive, integrated, and coordinated management in watersheds and similar areas in the country. Given this potential, it is suggested that the basis of integrated management practices be considered in watersheds. The steps presented in this research provide a suitable approach for watershed management by considering a decision-making institution. Implementing the proposed process model in the watershed area can lead to sustainable watershed governance over five to ten years by influencing key drivers. This model attempts to involve all stakeholders in decision-making, policymaking, planning, and implementing related programs. Therefore, its implementation will reduce environmental destruction and the depletion of basic water and soil resources, ultimately improving the living conditions of watershed residents and the sustainability of these natural ecosystems. The characteristics of this model include: 1) comprehensiveness and inclusiveness of stakeholders, 2) being council-based with real and practical stakeholder participation in all stages, 3) adaptability to different time and place conditions, 4) applicability to similar watersheds in other regions of the country, 5) a cyclic rather than linear nature, and 6) the simplicity of the proposed process.

Keywords: Sustainable watershed governance, Integrated management, process model, Decision-making organization.

Citation: Mosaferei Zeyaaldine, H., Tamassoki, H., Tajbakhsh Fakhrabadi, S. M., Kadivar, A., Biniiaz, M. & Khayyat Kholghi, N. (2025). Presenting a process-based model for integrated watershed management in Iran. *Integrated Watershed Management*, 4(4), 1-17. doi: 10.22034/iwm.2024.2029116.1154

Copyrights:

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



ارائه الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در ایران

حسین مسافری ضیاءالدینی^۱، احسان تمسکی^{۲*}، سیدمحمد تاج‌بخش فخرآبادی^۳، علی اصغر کدیور^۴،

مهدی بی‌نیاز^۵، ناصر خیاط خلقی^۵

۱- گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران

۳- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۴- گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور مشهد، مشهد، ایران

۵- گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه هاجت تپه، آنکارا، ترکیه

*نویسنده مسئول: ehsantamasoki@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

چکیده مبسوط

مقدمه: با وجود روند افزایشی بحران‌های مرتبط با منابع طبیعی، ارائه الگویی جهت مدیریت جامع در حوزه‌های آبخیز که مورد پذیرش خبرگان، کارگزاران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کشور باشد، حائز اهمیت است. حوزه‌های آبخیز با مجموعه‌ای از مخاطرات مواجه هستند که هر یک به‌تنهایی می‌توانند موجب بروز بحران‌های محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی شوند. تدوین این الگو از آن رو ضرورت دارد که بدون آن، رسیدن به مدیریت یکپارچه و جامع حوزه‌های آبخیز میسر نخواهد بود. به‌کارگیری این الگو می‌تواند موجب به‌هم‌پیوستگی و انسجام سازمانی، ارتقاء سلامت و تاب‌آوری حوزه آبخیز، هماهنگی نهادهای تصمیم‌گیر، ارتقای اثربخشی سیاست‌ها و قوانین، سازگاری آبخیزنشینان با تغییرات محیطی، حل تعارضات، مشارکت گسترده‌گرداران و در نهایت دستیابی به حکمرانی پایدار در حوزه‌های آبخیز شود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش که از نظر هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش توصیفی - تحلیلی است، پس از بررسی میدانی، تحلیل اسناد سیاستی و منابع کتابخانه‌ای، ضمن پیشنهاد نهادی تصمیم‌گیر، الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز شامل شش گام ارائه شد. طراحی الگوی فرآیندی مبتنی بر بررسی‌های میدانی و تجربی، دستورالعمل‌های موجود، اهداف و مقیاس‌های زمانی و مکانی و همچنین لحاظ کردن نیازها و نگرانی‌های گرداران انجام می‌شود. بر همین اساس مراحل تهیه این الگوی فرآیندی شامل (۱) بررسی و شناخت وضع موجود، (۲) شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید، (۳) پهنه‌بندی زیرحوزه‌ها، (۴) برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مشارکتی، (۵) نظارت و ارزیابی و (۶) مدیریت سازگار و حل تعارض است. برای این منظور، ابتدا با مشارکت خبرگان اهداف حوزه آبخیز تبیین و سپس با تشکیل گروه خبرگان، اقدام به طراحی الگوی پیشنهادی شد.

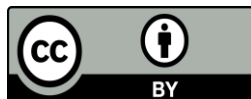
نتایج و بحث: از آنجا که بر اساس نتایج الگوهای پیشین یکی از چالش‌ها در اعمال مدیریت جامع، فقدان انسجام سازمانی و عدم تمرکز یک نهاد تصمیم‌گیر است، پیش از ارائه الگوی فرآیندی مدیریت جامع پیشنهاد می‌شود نهادی تصمیم‌گیر تحت عنوان «شورای راهبردی مدیریت حوزه آبخیز» متشکل از سازمان‌های غیردولتی، نهادهای دولتی و افراد سیاسی تأثیرگذار، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی، نمایندگان شوراهای اسلامی شهر و روستا و مشاوران تدوین برنامه راهبردی موردنظر شکل بگیرد. این شورا وظیفه تصمیم‌گیری، هماهنگی و نظارت بر برنامه راهبردی حوزه آبخیز را فارغ از مرز سیاسی در محدوده مرز طبیعی حوزه بر عهده خواهد داشت. این شورا برای هر یک از حوزه‌های آبخیز درجه ۲ توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تشکیل خواهد شد. جهت تقویت انسجام بین سازمانی نیز ریاست این شورا بر عهده نماینده تام‌الاختیار استاندار در دبیرخانه این شورا واقع در اداره کل منابع طبیعی استان معین خواهد بود. در این پژوهش، چارت تشکیلاتی و فرآیند اجرایی برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز پیشنهادی ارائه شده است. بر اساس این الگوی پیشنهادی پس از انتخاب مشاوران تدوین برنامه راهبردی حوزه و تشکیل شورای راهبردی، مراحل اول تا چهارم الگوی فرآیندی توسط مشاور در تعامل با شورای راهبردی مطالعه می‌شود، سپس در ادامه گام‌های پنجم و ششم جهت رسیدن به حکمرانی پایدار آبخیز انجام خواهد شد.

نتیجه‌گیری: حوزه‌های آبخیز اغلب از توانمندی‌های متنوع منابع طبیعی و نیروی انسانی برخوردار هستند. اما درعین‌حال از محدودیت‌های ناشی از تضاد منافع در سطوح مختلف تصمیم‌سازی نیز رنج می‌برند. نتایج پژوهش حاضر امکان به‌کارگیری به‌عنوان الگویی دقیق، علمی و نظام‌مند جهت مدیریت یکپارچه و هماهنگ در حوزه‌های آبخیز را دارد. اجرای الگوی فرآیندی پیشنهادی در حوزه‌های آبخیز می‌تواند از طریق اثرگذاری بر پیشران‌های کلیدی، زمینه‌ساز تحقق حکمرانی پایدار آبخیز در یک بازه زمانی پنج تا ده ساله باشد. در این الگو تلاش شده است در هرگونه تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و اجرای برنامه مرتبط، تمامی گرداران با حوزه آبخیز دخیل باشند. از این‌رو اجرای آن، کاهش تخریب محیط و منابع پایه آب‌وخاک را سبب شده و در نهایت منجر به بهبود وضعیت معیشتی ساکنان حوزه آبخیز شده و پایداری این بوم‌سازگان‌های طبیعی را به‌دنبال خواهد داشت. از ویژگی‌های این الگو می‌توان به ۱- جامعیت و فراگیری گرداران ۲- حکمرانی شبکه‌ای و مشارکت واقعی و عملی گرداران در تمامی مراحل طراحی، اجرا، نظارت، پایش، برنامه‌ریزی و هرگونه تصمیم‌گیری ۳- امکان سازگاری و انطباق با شرایط زمانی و مکانی مختلف ۴- امکان بکارگیری در حوزه‌های آبخیز مختلف کشور ۵- چرخه‌ای بودن الگو به جای حالت خطی ۶- پویایی الگوی پیشنهادی و در نهایت ۷- وضوح فرآیند پیشنهادی، اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: حکمرانی پایدار آبخیز، مدیریت جامع، الگوی فرآیندی، نهاد تصمیم‌گیر.

استناد: مسافری ضیاءالدینی، ح.، تمسکی، الف.، تاج‌بخش فخرآبادی، س. م.، کدیور، ع. الف.، بی‌نیاز، م. و خیاط خلقی، ن. (۱۴۰۳). ارائه الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در ایران. مدیریت جامع حوزه آبخیز ۴(۴)، ۱-۱۷.

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

تاکنون رویکردهای مدیریتی مختلفی چون مدیریت سیستمی، مدیریت مشارکتی، مدیریت یکپارچه منابع آب و مدیریت جامع حوزه آبخیز با توجه به تجربه‌های بین‌المللی برای مدیریت منابع طبیعی پیشنهاد شده است (Esmali & Abdollahi, 2011; Sadeghi et al., 2021). در این بین، رویکرد مدیریت جامع یکی از رویکردهای مدیریتی قابل اتکاست که به‌خصوص بعد از سال ۲۰۰۰ مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفته است (McDuff et al., 2008; Sadeghi et al., 2021). این رویکرد در دهه ۷۰ میلادی توسط سازمان‌های بین‌المللی چون فائو توسعه داده شد و هدف آن انسان‌محوری در روند توسعه، حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی و محیط زیست (Esmali & Abdollahi, 2011)، و همچنین توسعه معیشت پایدار روستایی با مشارکت همه‌گروداران است (Galewski, 2010). رویکرد مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز به‌مثابه مدلی مفهومی از جمله حساس‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین شکل‌های مدیریت منابع طبیعی قلمداد می‌شود (Athari et al., 2016). به‌طور کلی مدیریت حوزه آبخیز نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکرد جامع است (Sadoddin et al., 2018) و تهیه یک برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز دربرگیرنده اصول پیچیده و مبهمی از جمله رویکرد جامع‌نگر، تصمیم‌گیری جمعی^۲، فرآیند باز^۳ و فرآیند برنامه‌ریزی^۴ است (Mohseni Saravi & Mortezaei Frizhandi, 2015). بکارگیری رویکرد جامع‌نگر در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، نقش‌آفرینان مختلف را قادر می‌سازد که ضمن حفاظت از رشد اقتصادی پایدار، از یکپارچگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی بوم‌سازگان‌ها و سلامت انسان محافظت کنند (Council, 1999). از سویی دیگر نیروی محرکه اصلی در مدیریت جامع آبخیز از درک این موضوع ناشی می‌شود که دانش باید با برنامه‌ریزی

مرتبط باشد و تصمیم‌گیری باید بر اساس مشارکت گسترده‌گروداران اصلی در آبخیز شامل بهره‌برداران و جوامع محلی، نهادهای سیاست‌گذاری و سازمان‌های اجرایی باشد (Voinov & Costanza, 1999; Kazemi et al., 2006). با توجه به فراوانی و تشدید بحران‌ها و نابسامانی‌هایی نظیر فرسایش خاک (Arabkhedri et al., 2018)، نابودی مراتع (Hajarian, 2022)، تغییرات سطح جنگل‌ها (Mirakhorlou & Akhavan, 2017)، خشکسالی و تغییرات پوشش گیاهی (Tamassoki et al., 2014)، خشکی رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مشکل تخصیص حبابه محیط‌زیستی (Moghaddasi et al., 2019)، بحران آب (Rahpou et al., 2018) و تشدید طوفان‌های گردوغبار در مناطق مختلف ایران (Tamassoki et al., 2022) امروزه متخصصان، محققان و کارشناسان حوزه منابع طبیعی و محیط‌زیست بر لزوم دستیابی به الگویی در مدیریت حوزه‌های آبخیز تاکید دارند (Mohseni Saravi & Mortezaei Frizhandi, 2015). از آنجا که پایداری منابع طبیعی مستلزم بکارگیری رویکردهای جامع مدیریتی است (Athari et al., 2016)، در ارتباط با رویکرد مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز تاکنون طرح‌ها و پژوهش‌های متعددی انجام شده است. از جمله؛ Kazemi و همکاران (2006) با استفاده از روش دلفی به طراحی مدل علیتی نظام مدیریت جامع توسعه پایدار منابع طبیعی در حوزه آبخیز حبله‌رود در قالب ۱۷ سیاست راهبردی، ۱۱ مؤلفه اصلی و ۴۷ معیار پرداختند. با توجه به اهمیت اتخاذ رویکرد مدیریت جامع در توسعه پایدار منابع آبخیزهای کشور، طرح ملی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در اولویت کمیسیون کشاورزی، آب و منابع طبیعی شورای عالی

³ Open Process⁴ Planning Process¹ Holistic² Collective decision making

عتف^۵ قرار گرفت و در ۲۱ خرداد ۱۳۹۱ به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌عنوان مجری محوری ابلاغ شد (Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 2012). این طرح که با هدف برنامه‌ریزی جامع و هماهنگ منابع در حوزه آبخیز و رسیدن به پایداری بوم‌سازگان تهیه شده است، هم‌اکنون در ۳۳ حوزه آبخیز کشور در حال مطالعه است (Islamic Republic News Agency, 2018).

Hazbavi و Sadeghi (۲۰۱۷a-b) و Sadeghi و Hazbavi (۲۰۱۶) در مقاله‌های سه‌گانه‌ای به معرفی سه مدل مفهومی مرتبط با سلامت آبخیز پرداختند، این پژوهش‌ها ضمن تشریح مدل‌های RRV^۶، PSR^۷ و VOR^۸ در ارزیابی سلامت آبخیز بیان می‌کنند که به‌کارگیری و ترویج مدل‌های فوق به‌عنوان رویکردهای جامع می‌تواند به اتخاذ بهترین اقدامات مدیریتی در حوزه‌های آبخیز منجر شود. Athari و همکاران (۲۰۱۶) با روش نمونه‌گیری تصادفی به تبیین الگوی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور پرداختند، نتایج این پژوهش نشان داد که برای سامان‌بخشی به وضعیت حوزه‌های آبخیز بایستی به سازوکارهای هماهنگی بین سازمان‌های مسئول، انسجام درون‌سازمانی و برون‌سازمانی و مشارکت بخش خصوصی، تعاونی‌ها و سازمان‌های مردم‌نهاد توجه شود. Baniasadi & Palouj (۲۰۲۰)، با بکارگیری روش تحلیلی نظریه داده‌بنیاد و مصاحبه با کارشناسان به طراحی مدل حکمرانی مطلوب در حوزه آبخیز ارزشی^۹ پرداختند، از مهم‌ترین نتایج و پیشنهادهای این الگو می‌توان به تدوین چیدمان نهادی مناسب در سطح حوزه آبخیز، یکپارچه‌سازی مدیریت از سطح کلان تا سطح حوزه،

واگذاری مدیریت به گرداران در سطح حوزه آبخیز، مشارکت گرداران در نظارت و اجرا و تأکید بر اصلاح قوانین و نظام حقوقی اشاره کرد. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از تحلیل راهبردی مبتنی بر مشکلات به ارائه الگوی مدیریت جامع حوزه آبخیز برارود در استان مازندران پرداختند، نتایج نشان داد که بهترین راهبرد در حوزه آبخیز، راهبرد تقویت حس رضایت‌مندی ساکنین است. Karimi و Talebi (۲۰۲۲) با بررسی مقایسه‌ای و تشریح برنامه‌ها و اهداف رویکردهای مدیریت جامع اراضی^{۱۰} و مدیریت جامع آبخیز، جهت رهایی از بحران‌های فعلی حوزه‌های آبخیز و همچنین توسعه، حفظ و احیای بوم‌سازگان‌ها، اجرای مدیریت جامع آبخیز را با ساختار و چهارچوبی منسجم پیشنهاد دادند. Biniaz و Tamassoki (۲۰۲۳)، به واکاوی ابعاد جامعیت در مفهوم مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ایران پرداختند و شش بُعد جامعیت شامل انسجام سازمانی، به‌هم‌پیوستگی مرزهای طبیعی، یکپارچگی قوانین و مقررات، عناصر مورد مدیریت، عوامل موردبررسی و اجزای بوم‌سازگان را به عنوان ابعاد جامعیت مطرح کردند. Karimi (۲۰۲۴)، ضمن تشریح مراحل حکمرانی شایسته آبخیز، برای بهبود و سلامت آبخیزها و رهایی از بحران‌های به‌وجودآمده در آبخیزها حکمرانی شایسته آبخیز را به‌عنوان جایگزین حکمرانی نامطلوب غالب پیشنهاد داد.

به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهند که طی پنجاه سال اخیر، حوزه‌های آبخیز متحمل تحولات طبیعی، اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای شده‌اند. بخشی از این تحولات نتیجه تغییرات اقلیم و مسائل جهانی است اما

^۵ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

^۶ Reliability, Resilience and Vulnerability

^۷ Pressure, State and Response

^۸ Vigor, Organization and Resilience

^۹ Orzoo'iyeh

^{۱۰} Integrated Land Management

آبخیز از آن رو ضروری است که ضمن پرهیز از تکثر نهادی به انسجام و پایداری یکپارچگی مطالعات فیزیکی-زیستی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصاد می‌انجامد.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع اکتشافی است. در مواردی که هدف پژوهش، کسب آگاهی‌های منظم و صحیح درباره پدیده‌ها و مفاهیم است، مطالعه بعد اکتشافی پیدا می‌کند (Tamassoki et al., 2022). پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. پژوهش‌های توصیفی در بعد بنیادی به کشف واقعیت‌های جهان خلقت می‌انجامند (Hafeznia, 2022). همچنین شیوه کیفی که این پژوهش بر مبنای آن انجام گرفته است به‌طور گسترده در رشته‌های علوم اجتماعی و مدیریت کاربرد دارد (Grinnell et al., 2005) و به فرآیندی اشاره می‌کند که شامل سازمان‌دهی داده‌ها، تدوین موضوعات و تحلیل، تفسیر و نوشتن گزارش است. چارچوب الگوی ارائه‌شده می‌تواند در قالب روابط علت و معلولی، ساختار سیستم مورد مطالعه را در سطح قابل قبولی از جزئیات و در عین حال به شکل ساده‌شده نمایش دهد (Alvandi & Sadoddin, 2019). طراحی الگوی‌های فرآیندی مبتنی بر بررسی‌های میدانی و تجربی، دستورالعمل‌های پیشین، اهداف و مقیاس‌های زمانی و مکانی و همچنین لحاظ کردن نیازها و نگرانی‌های گرداران انجام می‌شود (Badham et al., 2019). بر همین اساس در این پژوهش ابتدا با مشارکت خبرگان اهداف مدیریت جامع حوزه آبخیز تبیین و سپس با تشکیل گروه خبرگان و بهره‌گیری از تحلیل دلفی اقدام به طراحی الگوی پیشنهادی شد.

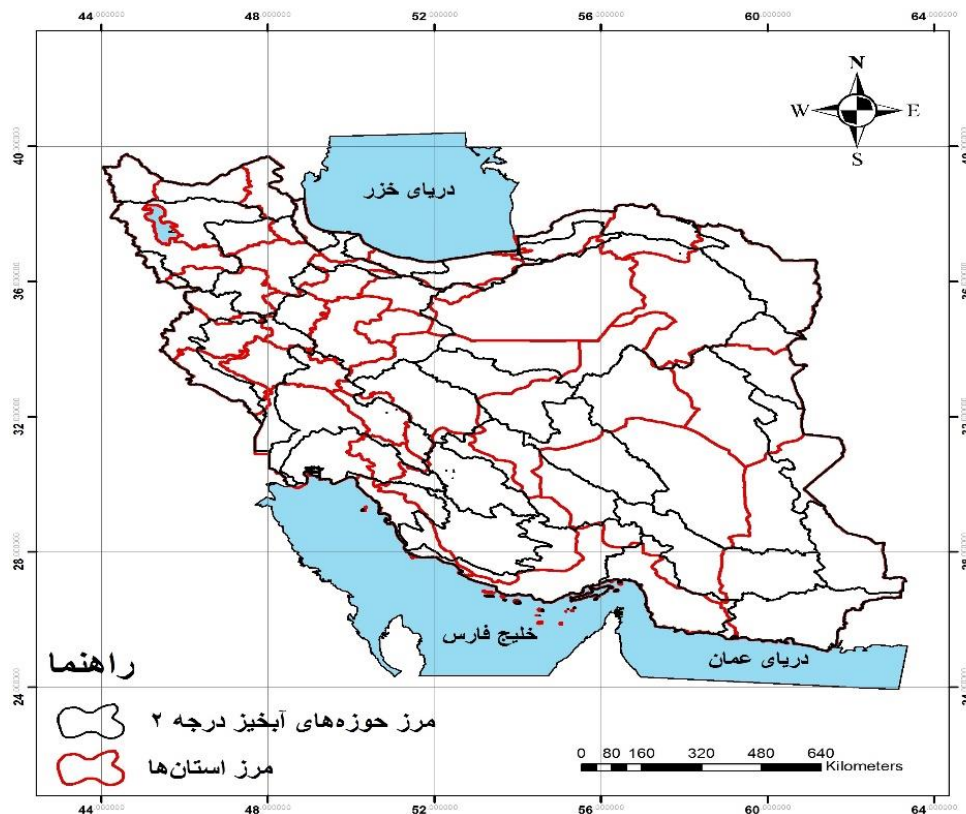
نتایج

از آنجا که بر اساس بررسی الگوهای پیشین یکی از چالش‌ها در اعمال مدیریت جامع، فقدان انسجام

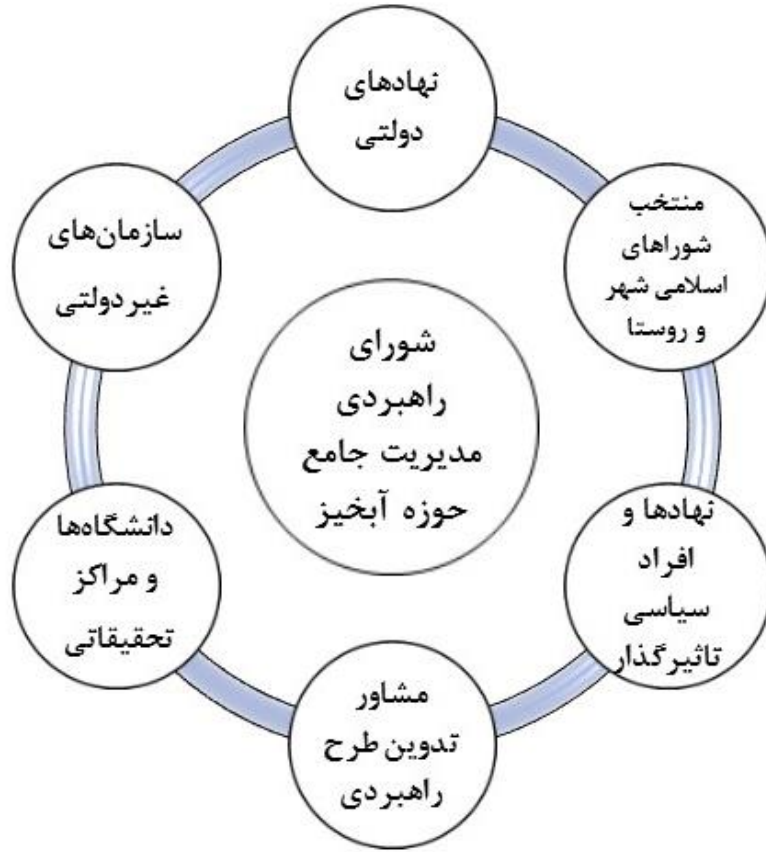
گستره وسیعی از تحولات حوزه‌های آبخیز در ایران نتیجه تغییر در الگوهای مالکیت و بهره‌برداری از زمین (Tamassoki et al., 2022) و الگوهای حاکمیت محیط‌زیست قراردادمحور (Safikhani & Holisaz, 2024) در کشور بوده است. این مجموعه عوامل باعث شده است مدیریت حوزه‌های آبخیز به لحاظ طبیعی ناپایدار، به لحاظ اجتماعی ناکارآمد و از نظر اقتصادی کم‌بازده باشد. با وجودی که امروزه مدیریت جامع به‌عنوان یک الگوی مرجع و قابل استناد برای برنامه‌ریزی و سامان‌دهی حوزه‌های آبخیز مطرح شده است (Mohseni Saravi & Mortezaei Frizhandi, 2017; Athari et al., 2015)، به دلیل عدم وجود الگویی جامع و مورد قبول در سطح کلان، عموماً دچار اعمال سلیقه‌های شخصی و در نهایت عدم پاسخ‌گویی مدیران و برنامه‌ریزان شده است (Gregersen et al., 2009) و اغلب طرح‌های آبخیزداری و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در ایران با چالش‌های متعددی روبه‌رو هستند و علی‌رغم صرف اعتبارات با موفقیت چشم‌گیری همراه نبوده‌اند (Sadoddin et al., 2016). از این‌رو، نظر به اهمیت مطالعات راهبردی در حوزه‌های آبخیز کشور، تعدد استان‌های ذی‌نفع و اسناد بالادستی، نظام‌مند شدن هرچه بیشتر مراحل انجام مطالعات و تدوین رویه‌ها و به‌روزرسانی دستورالعمل‌ها با توجه به تجارب حاصله، ارائه الگوی مدیریت جامع در حوزه‌های آبخیز کشور امری اجتناب‌ناپذیر است. هدف از ارائه این الگو، مدیریت راهبردی حوزه‌های آبخیز و نظام‌مند شدن و کارآمدسازی روند مراحل انجام مطالعات و تصویب طرح‌ها و پروژه‌های حوزه‌های آبخیز است. ارائه یک الگوی فرآیندی، تعیین فرآیند و نحوه گردش کار بررسی و تصویب مطالعات طرح‌ها و ارائه پیشنهاد در مورد نهاد تصمیم‌گیر در حوزه آبخیز که در نهایت بتوان آن را در حوزه‌های مشابه بکار گرفت، هدف اصلی این پژوهش است. ارایه الگوهای مدیریتی در حوزه‌های

شورا برای هر یک از حوزه‌های آبخیز درجه ۲ (شکل ۱) توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تشکیل شود. جهت تقویت انسجام بین سازمانی، ریاست این شورا بر عهده نماینده تام‌الاختیار استاندار و دبیرخانه این شورا واقع در اداره کل منابع طبیعی استان مُعین که در خروجی حوزه آبخیز قرار گرفته است، خواهد بود. چارت تشکیلاتی و اعضای ثابت و مدعو پیشنهادی برای این شورا در شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۴ نیز فرآیند اجرایی پیشنهادی برای مدیریت جامع حوزه آبخیز را نشان می‌دهد. بر اساس این الگوی پیشنهادی پس از انتخاب مشاور تدوین برنامه راهبردی حوزه مورد مطالعه توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری و تشکیل شورای راهبردی، مراحل اول تا چهارم الگوی فرآیندی (شکل ۵) توسط مشاور مطالعه شده و سپس مشاور در تعامل با شورای راهبردی گام‌های پنجم و ششم را تکمیل می‌کند.

سازمانی و عدم تمرکز یک نهاد تصمیم‌گیر است (Biniaz & Tamassoki, 2023) پیش از ارائه الگوی فرآیندی مدیریت جامع پیشنهاد می‌شود نهادی تصمیم‌گیر تحت عنوان «شورای راهبردی مدیریت حوزه آبخیز» متشکل از نهادهای دولتی، سازمان‌های غیردولتی، نهادها و افراد سیاسی تأثیرگذار، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی، نمایندگان منتخب شوراهای اسلامی شهر و روستا، و مشاور تدوین برنامه راهبردی مدیریت حوزه آبخیز موردنظر شکل بگیرد. از آنجا که جایگاه کنشگران در شبکه حکمرانی هر حوزه آبخیز تابع شرایط طبیعی، اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی خاص آن حوزه است (Zakeri Mahabadi *et al.*, 2023)، پیشنهاد می‌شود نقش و جایگاه هر یک از کنشگران این شورا برآمده از تحلیل شبکه اجتماعی کنشگران حوزه آبخیز موردنظر باشد. این شورا وظیفه تصمیم‌گیری، هماهنگی و نظارت بر ابعاد جامعیت را فارغ از مرز سیاسی در محدوده مرز طبیعی حوزه بر عهده خواهد داشت (شکل ۲). پیشنهاد می‌شود که این

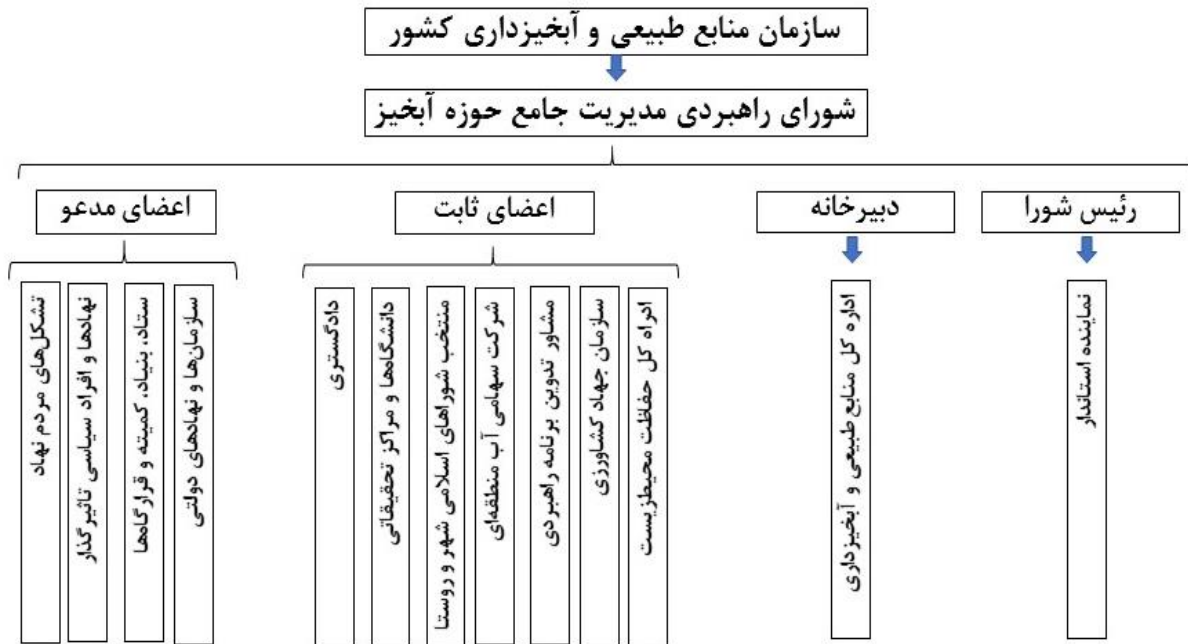


شکل ۱. حوزه‌های آبریز درجه ۲ ایران به همراه مرز استان‌ها
Figure 1 . Level 2 watershed of Iran and borders of provinces



شکل ۲. ساختار پیشنهادی نهاد تصمیم‌گیر

Figure 2. The proposed structure of the decision-making organization



شکل ۳. چارت تشکیلاتی شورای راهبردی مدیریت جامع حوزه آبخیز

Figure 3. Organizational chart of the strategic council for the integrated watershed management

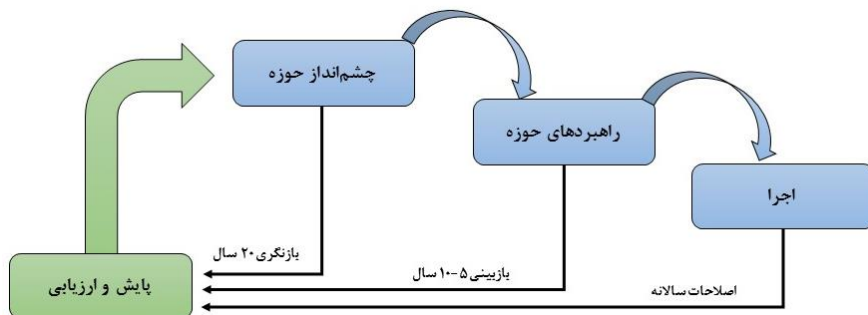


شکل ۴. فرآیند اجرایی تدوین برنامه

Figure 4. The executive process of program formulation

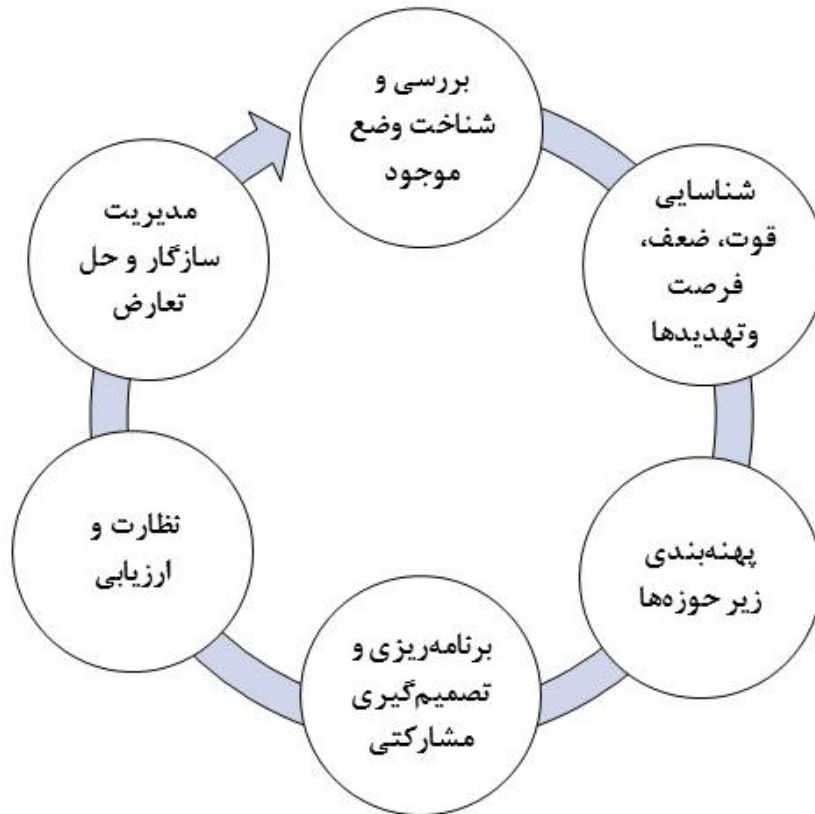
این‌رو، فرآیند کلی تدوین، تکرار و اصلاح برنامه با بهره‌گیری از تجربه‌های موفق بین‌المللی به صورت شکل ۵، پیشنهاد می‌شود. مراحل تهیه این الگوی فرآیندی شامل (۱) بررسی و شناخت وضع موجود، (۲) شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید، (۳) پهنه‌بندی زیرحوزه‌ها، (۴) برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مشارکتی، (۵) نظارت و ارزیابی و (۶) مدیریت سازگار^{۱۱} و حل تعارض در قالب شکل ۶ بوده است. برای این منظور، ابتدا با مشارکت گروه‌داران راهبرد حوزه احصاء و تبیین شد و سپس با تشکیل گروه خبرگان، اقدام به طراحی الگوی پیشنهادی شد.

پس از تشکیل نهاد تصمیم‌گیر، مطابق شکل ۵ مراحل الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه آبخیز بر اساس بررسی‌های میدانی و کتابخانه‌ای شامل شش گام به شرح زیر پیشنهاد می‌شود. شایان ذکر است که این الگو در گام چهارم به ارائه برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز منجر می‌شود، اما برای رسیدن به هدف غایی یعنی حکمرانی پایدار آبخیز، نیاز به پیمودن گام‌های پنجم و ششم و اصلاحات پی‌درپی و رفع نواقص برنامه‌ها است. به همین دلیل این الگو تحت عنوان الگوی فرآیندی نام‌گذاری شده است. امروزه مدیریت تطبیقی، به علت بروز تغییر در برنامه حوزه آبخیز طی زمان، مورد پذیرش قرار گرفته است (Pegram et al., 2013).



شکل ۵. فرآیند کلی تدوین، تکرار و اصلاح برنامه

Figure 5. The overall process of developing, repeating and modifying the program



شکل ۶. مراحل الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

Figure 6. Steps of the process model of Integrated Watersheds management

سناریوهای تغییر اقلیم انجام می‌شود. در بُعد حکمرانی محتوای اسناد بالادستی از جمله سند آمایش سرزمین و سند توسعه استان، دستورالعمل‌های اجرایی و اقدامات و پروژه‌های انجام شده، بررسی می‌شود. در بُعد جغرافیای انسانی نیز شناخت نظام سکونت‌گاهی، وضعیت معیشتی، دست‌اندرکاران، گرداران و ذی‌ربطان، جمعیت‌شناسی، میراث ملموس و ناملموس، دانش بومی، وضعیت زیرساخت‌ها و شبکه‌های ارتباطی انجام می‌شود.

گام دوم: شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید

تحلیل راهبردی عوامل درونی و بیرونی، منجر به پیشرفت و ارتقای سامانه بر اساس قوت‌ها و حداقل رساندن ضعف‌ها و همچنین فراهم کردن زمینه‌های بهبود و غنیمت شمردن فرصت‌ها و خنثی نمودن تهدیدها در مرز طبیعی حوزه آبخیز می‌شود (Talebi

در نهایت مراحل اجرایی الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، مطابق با شکل ۷، به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

گام اول: بررسی و شناخت وضع موجود

در بسیاری از الگوهای ارائه شده، از جمله الگوهای ارائه شده توسط (Talebi & Sadoddin, 2016; Karimi, 2016) گام اول، بررسی و شناخت وضعیت موجود است. بر همین سیاق در این الگوی پیشنهادی هدف از گام اول، تبیین حوزه آبخیز، ایجاد پایگاه داده و بررسی کفایت آمار و اطلاعات حوزه است. این گام شامل سه بُعد جغرافیای طبیعی، حکمرانی و جغرافیای انسانی است. به طور کلی در بُعد جغرافیای طبیعی اطلاعات موردنیاز در خصوص فیزیوگرافی، هیدرولوژی و هواشناسی، پوشش گیاهی، خاک، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، آب‌های سطحی و زیرزمینی، فرسایش و رسوب، محیط‌زیست و حیات وحش، جمع‌آوری و همچنین نحوه بهره‌برداری از کاربری اراضی و بررسی

دارای اولویت را مشخص می‌کند. در این گام ابتدا بر اساس نتایج مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT)^{۱۴}، پهنه‌بندی زیرحوزه‌ها انجام می‌شود. سپس بر اساس خروجی این تحلیل، پهنه‌بندی تاب‌آوری و سلامت حوزه آبخیز در ابعاد بوم‌شناختی (PSR)^{۱۵}، اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی انجام می‌شود. در نهایت نیز پهنه‌بندی ساختار فضایی در حوزه آبخیز بر اساس اطلاعات ساختار زمین و اشکال ناهمواری، شبکه دسترسی و ارتباطی، پراکنش خدمات عمومی، توزیع فضایی اقوام، تقسیمات رسمی و سیاسی و وضعیت زیرساخت‌ها انجام خواهد شد.

گام چهارم: برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مشارکتی
 باتوجه به مسائل و مشکلات منابع طبیعی، وضعیت حکمرانی و شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی امروز ایران، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در عرصه‌های طبیعی مستلزم مشارکت گسترده کلیه گرداران و گذار از گفتمان «حکمرانی محیط‌زیست» به گفتمان «حکمرانی محیط‌زیست» است (Tamassoki et al., 2024). بر همین اساس هدف از این گام، تدوین برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز با توجه به راهبردهای کلان حوزه موردنظر بر اساس رویکردهای گسترش جامعیت، مشارکت جوامع بومی، فراگیر بودن، شفافیت، پاسخگویی و اشتراک قدرت است. این گام شامل دو بُعد است، بُعد اول به ظرفیت‌سازی می‌پردازد و بُعد دوم شامل تخصیص منابع و فرآیندهای تامین مالی می‌شود. در بخش ظرفیت‌سازی به آموزش در راستای افزایش مهارت‌های فنی، دانش بومی و آگاهی از شیوه‌های پایدار و سرمایه‌گذاری در راستای ارتقاء ظرفیت موسسات محلی، جوامع و افراد درگیر در حوزه آبخیز پرداخته می‌شود. در بخش تخصیص منابع و فرآیندهای تامین مالی نیز به ایجاد مکانیسم‌های شفاف و پاسخگو

(et al., 2022). در همین راستا هدف از این گام، تحلیل راهبردی و تعیین استراتژی‌ها برای مدیریت جامع حوزه است. این گام شامل دو مرحله است، در مرحله اول بر اساس جلسات هم‌افزایی، تشکیل گروه خبرگان، گفتگوی مستقیم با ذی‌نفعان و ذی‌ربطان (جوامع محلی، مدیران، کارشناسان و مهندسان ناظر پروژه‌های انجام شده) و بازدیدهای میدانی، نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید شناسایی می‌شود. سپس بر اساس پرسش‌نامه‌ها وضعیت حکمرانی منابع طبیعی، پیشران‌های کلیدی توسعه پایدار، توسعه کشاورزی، اولویت‌بندی مسائل اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی و همچنین تحلیل شبکه‌های اجتماعی^{۱۲} بین گرداران، ذی‌ربطان و کنشگران در محدوده حوزه انجام می‌شود. خروجی‌های این گام با نتایج گام اول تجمیع و تحلیل راهبردی با استفاده از روش SWOT^{۱۳} انجام می‌شود. بر همین اساس راهبردهای حوزه آبخیز جهت مدیریت جامع ارائه می‌شود.

گام سوم: پهنه‌بندی زیرحوزه‌ها

در راهبردهای مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور هنوز مفهوم واقعی تاب‌آوری در برابر بالایی طبیعی، جایگاه واقعی خود را به منظور اتخاذ اقدامات موردنیاز متناسب با شرایط و موقعیت‌ها و نیز تنوع بلایا پیدا نکرده است. بروز خسارات جبران‌ناپذیر جانی، روحی- روانی، مالی و محیط‌زیستی مختلف طی سال‌ها و ماه‌های اخیر در نقاط مختلف کشور مظهر تأییدی بر عدم اتخاذ رویکرد تاب‌آوری است (Parsazadeh Kelvanaq et al., 2021). هدف از انجام این گام، تعیین اولویت‌بندی واحدهای برنامه‌ریزی بر مبنای میزان تاب‌آوری و سلامت حوزه آبخیز و نیز ساختار فضایی شهرها و مناطق مسکونی در حوزه آبخیز است. این گام پیش‌نیاز برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌ها بوده و پهنه‌های

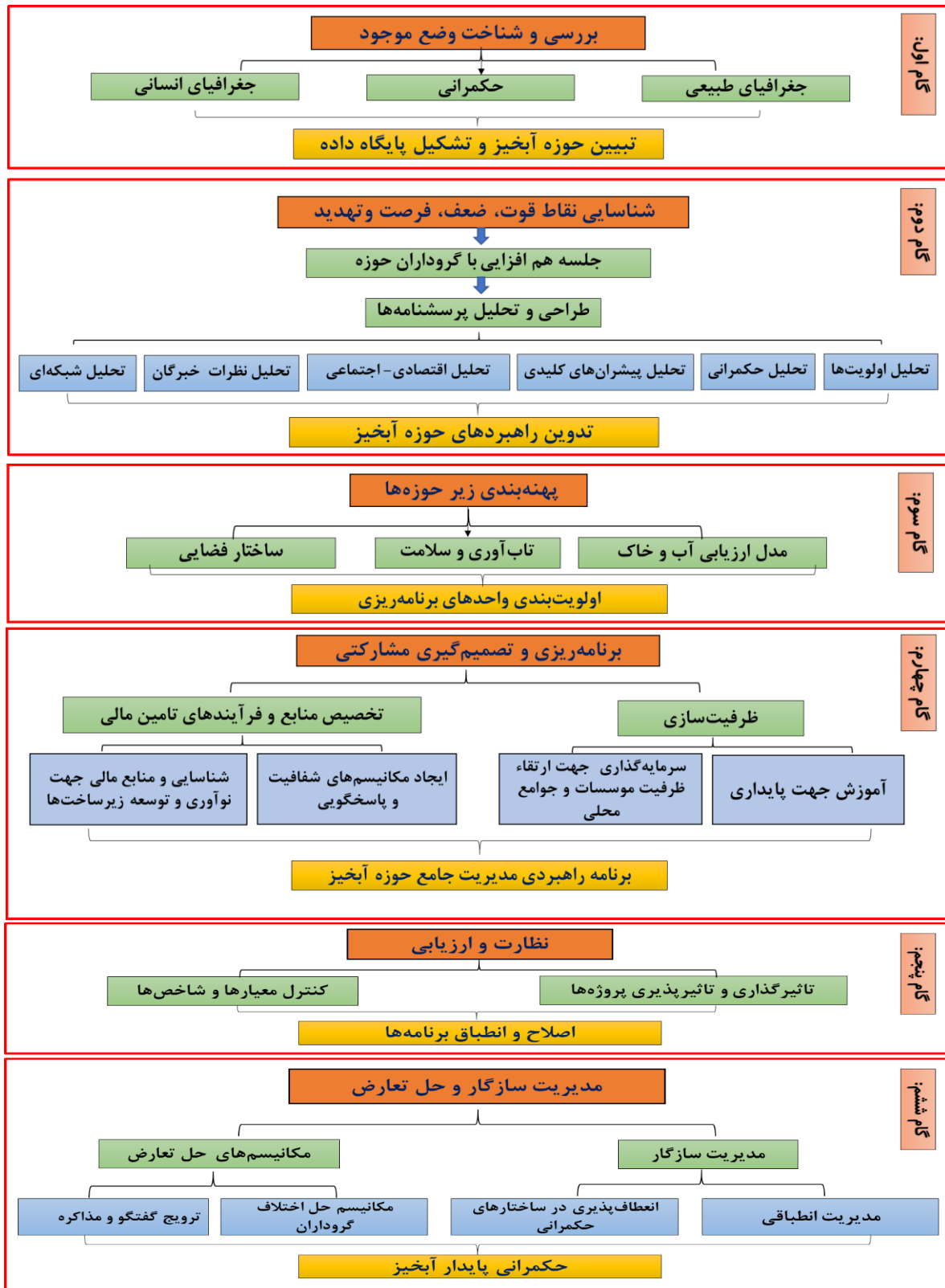
¹⁵ Pressure-State- Response

¹² Social Network Analysis

¹³ Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats

¹⁴ Soil & Water Assessment Tool

برای تخصیص منابع ملی و بین‌المللی، از جمله منابع مالی، انسانی و فنی و شناسایی، و پیگیری منابع مالی برای حمایت از ابتکارات مدیریت حوزه آبخیز و نیز توسعه زیرساخت‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۷. مراحل اجرایی الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

Figure 7. Implementation steps of the integrated watersheds management process model

گام پنجم: نظارت و ارزیابی

فرآیند نظارت و ارزیابی جامع آبخیزها، فرآیندی چندبُعدی، پویا، هدفمند و ذی‌نفع‌محور است. روبه‌رو شدن با مشکلات مدیریتی و چالش‌های توسعه پایدار نیازمند رویکردی برای ارزیابی جامع فعالیت‌های مدیریتی مناسب به همراه اثرات محیط‌زیستی است (Sadoddin *et al.*, 2017). بر همین اساس هدف از انجام این گام، اصلاح و انطباق برنامه‌های پیشنهادی است. این بخش در دو بُعد انجام می‌گیرد. در بُعد اول تحلیل تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پروژه‌ها پس از اجرا در سطح حوزه آبخیز انجام می‌شود. سپس وضعیت حوزه آبخیز پس از اجرای برنامه‌ها و پروژه‌ها بر اساس شاخص‌ها و معیارهای موجود ارزیابی می‌شود. حاصل این بررسی‌ها ممکن است به تغییراتی در برنامه منجر شود.

گام ششم: مدیریت سازگار و حل تعارض

باتوجه به عدم قطعیت آینده، پیش‌بینی دقیق شرایط تغییر اقلیم و توسعه در طول فرآیند برنامه‌ریزی حوزه، نیاز به اعمال مدیریت سازگار دارد (Pegram *et al.*, 2013). از سویی دیگر بررسی تعارضات اجتماعی منابع طبیعی و همچنین پرونده‌های حقوقی نشان‌دهنده ظرفیت ایجاد تعارضات در حوزه‌های آبخیز است و درک درست از چرایی تعارضات اجتماعی مرتبط با عرصه‌های طبیعی، بینشی برای سیاست‌گذاری‌های درازمدت پدید می‌آورد (Jannatichenar & Kholahi, 2023). بر همین اساس هدف از گام نهایی الگوی ارائه شده، رسیدن به حکمرانی پایدار حوزه آبخیز است. در این گام به مدیریت سازگار و مکانیسم‌های حل تعارض در حین انجام برنامه‌ها و پروژه‌ها پرداخته می‌شود. بُعد اول این گام مدیریت سازگار است که شامل «ادغام اصول مدیریت انطباقی برای پاسخ به تغییر شرایط محیطی، چالش‌های در حال ظهور و اطلاعات جدید» و «انعطاف‌پذیری در ساختارهای حکمرانی برای تغییرات بر اساس یادگیری مداوم و بازخوردها» است. بُعد دوم نیز مکانیسم‌های حل تعارض است که شامل

«ایجاد مکانیسم‌هایی برای رسیدگی به درگیری‌ها و اختلافات بین گروه‌داران» و «ترویج گفتگو و مذاکره برای یافتن راه‌حل‌های قابل قبول برای منافع رقابتی» است.

بحث

توجه روزافزون به مفهوم مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و لزوم حل مسائل پیچیده در عرصه‌های طبیعی کشور سبب ارائه راهکارهای نهادی و قانونی متعدد طی سال‌های اخیر شده است. انتشار چندین نشریه در این حوزه از جمله نشریه «مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز» توسط دانشگاه ایلام، نشریه‌های «علوم و مهندسی آبخیزداری ایران» و «ترویج و توسعه آبخیزداری» توسط انجمن آبخیزداری ایران، نشریه «مهندسی و مدیریت آبخیز» توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، پژوهش‌نامه «مدیریت حوزه آبخیز» توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، نشریه «پژوهش‌های آبخیزداری» وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، نشریه «مرتع و آبخیزداری» توسط دانشگاه تهران نیز نشان از توجه مراکز تحقیقاتی به مباحث مرتبط با حوزه‌های آبخیز دارد. از سویی دیگر بحث‌های گوناگون پیرامون تدوین قوانین جدید مرتبط با حوزه‌های آبخیز (لایحه جامع منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۳۸۸)، قانون حفاظت خاک (۱۳۹۸)، ویرایش نخست لایحه قانون آب (۱۳۹۹) و طرح آبخیزداری و آبخوانداری (۱۳۹۹))، و تغییر ساختارهای تشکیلاتی مرتبط (طرح‌های واصله به هیأت رئیسه‌ی مجلس برای ادغام نهادهای مرتبط با آب و محیط‌زیست در سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰، پیشنهاد ادغام سازمان‌های منابع طبیعی و محیط‌زیست (۱۴۰۰)) و تلاش برای تعیین هویت‌های جدید در قالب نام‌گذاری‌های متعدد (تغییر نام سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور به سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۸۱))، و سپس تغییر نام سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری (۱۴۰۰)) همگی نشان‌دهنده

مطلوب و بهینه، بدون اثرگذاری نامطلوب بر روی منابع و محیط‌زیست و هم‌چنین زندگی آبخیز‌نشینان، صورت پذیرد. بر همین اساس و با توجه به اهمیت ویژه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و نقش حیاتی آن در حفظ و تجدید منابع طبیعی، در این پژوهش کوشش شده است ضمن پیشنهاد نهادی تصمیم‌گیر، الگویی فرآیندی همسو با یافته‌های Karimi (۲۰۲۴) جهت نیل به حکمرانی پایدار آبخیز ارائه شود. این مهم می‌تواند منجر به بهبود کارایی مفهوم مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در طی یک بازه پنج تا ده‌ساله شده و اهداف کلان موردانتظار از آن را برآورده سازد.

قابل ذکر است که الگوی فرآیندی ارائه‌شده چنان که Mohseni Saravi و Mortezaei Frizhandi (۲۰۱۵) نیز تاکید داشته‌اند به نوعی در پوشش سه اصل اساسی رویکرد جامع‌نگری، فرایند باز و تصمیم‌گیری جمعی استوار است. در هرگونه برنامه‌ریزی برای حوزه‌های آبخیز به‌عنوان یک واحد تعریف‌شده و مبنای عمل محیط‌های طبیعی در کشور، توجه جدی به ابعاد جامعیت چنان‌که Biniaz و Tamassoki (۲۰۲۳)، تاکید کرده‌اند، ضروری است. در این صورت می‌توان به نتایج مدیریت و بالطبع به بهبود وضعیت منابع طبیعی حوزه آبخیز امیدوار بود و با عمل واقعی به موضوع توسعه پایدار، به بهبود پایداری آبخیزها و بطورکلی میزان پایداری این منابع افزود.

نتیجه‌گیری کلی

حوزه‌های آبخیز اغلب از توانمندی‌های متنوع منابع طبیعی و منابع نیروی انسانی برخوردار هستند؛ اما در عین حال از محدودیت‌های ناشی از تضاد منافع در سطوح مختلف تصمیم‌سازی رنج می‌برند، از این‌رو انجام مطالعات راهبردی و ارائه الگوهای مدیریتی الزامی است. نتایج پژوهش حاضر امکان به‌کارگیری به‌عنوان الگویی مناسب، دقیق، علمی و نظام‌مند جهت مدیریت جامع، یکپارچه و هماهنگ در حوزه‌های آبخیز

توجه سیاست‌گذاران و مدیران اجرایی کشور به مسائل حوزه‌های آبخیز است. در چنین وضعیتی است که لزوم توافق خبرگان، سیاست‌گذاران و مسئولان اجرایی کشور بر الگویی بومی که با شرایط تاریخی، طبیعی، اقلیمی، سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی هر یک از حوزه‌های آبخیز کشور منطبق باشد، دریافت می‌شود. در همین راستا از واپسین تلاش‌های مدیران اجرایی کشور می‌توان به ارائه «چهارچوب تدوین شرح خدمات برنامه راهبردی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز» در اسفندماه سال ۱۴۰۱ توسط مرکز بین‌المللی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و منابع زیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک^{۱۶} وابسته به سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور اشاره کرد که به صورت آزمایشی در استان‌های خراسان شمالی، گلستان و آذربایجان شرقی در حال انجام است. نتایج این مطالعات اگر منجر به ارائه دستورالعملی ملی و مدلی پویا و مورد توافق صاحب‌نظران شود، زمینه‌ساز حل مسائل خواهد شد. بر همین سباق، این پژوهش را نیز می‌توان گامی عملی در راستای چارچوب مورد اشاره برای ارائه الگویی فرآیندی جهت مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ایران دانست.

مدیریت جامع حوزه آبخیز چنان‌که Biniaz و Tamassoki (۲۰۲۳) تأکید دارند به معنای مدیریت پایدار مجموعه منابع زیستی و انسانی یک حوزه آبخیز است به‌نحوی که سلامت و معیشت مردم در کنار پایداری اکولوژیکی و طبیعی حوزه آبخیز تأمین شود. به بیانی دیگر، فرآیند تنظیم و اجرای اقدامات مناسب به‌منظور اداره منابع موجود در آبخیز با کسب منافع، بدون آسیب رساندن به موجودیت این منابع را آبخیزداری یا مدیریت حوزه آبخیز گویند. از دیگر سو، گفته می‌شود که مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، بایستی دید کلی و سیستم‌نگر نسبت به آبخیزها داشته باشد و با کسب کالاهای موردنیاز جامعه و خدمات

سیاست‌گذاری، مردمی، دولتی و غیردولتی، حقیقی و حقوقی و غیره) ۲- شورایی بودن و مشارکت واقعی و عملی گروداران در تمامی مراحل طراحی، اجرا، نظارت، پایش، برنامه‌ریزی و هرگونه تصمیم‌گیری و غیره ۳- سازگاری و انطباق با شرایط زمانی و مکانی مختلف امکان بکارگیری در حوزه‌های آبخیز مناطق مختلف کشور ۵- چرخه‌ای بودن الگو به جای حالت خطی و نیز پویایی الگوی پیشنهادی و در نهایت ۶- سادگی فرآیند پیشنهادی، اشاره کرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری‌های مرکز بین‌المللی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و منابع زیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (تحت پوشش یونسکو) و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان شمالی کمال تشکر و قدردانی داریم.

کشور را دارد. به‌دلیل همین پتانسیل پیشنهاد می‌شود که مبنای اعمال مدیریت جامع در حوزه‌های آبخیز قرار گیرد. گام‌های ارائه‌شده در این پژوهش به‌دلیل توجه به تصمیم‌گیری مشارکتی می‌تواند رهیافت مناسبی برای مدیریت حوزه آبخیز باشند. اجرای الگوی فرآیندی پیشنهادشده در حوزه آبخیز می‌تواند از طریق اثرگذاری بر پیشران‌های کلیدی، زمینه‌ساز تحقق حکمرانی پایدار آبخیز در یک بازه زمانی پنج تا ده ساله شود. در این الگو تلاش شده است در هرگونه تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و اجرای برنامه مرتبط، تمامی گروداران و ذی‌ربطان با حوزه آبخیز دخیل باشند. از این‌رو اجرای آن، کاهش تخریب محیط و منابع پایه آب‌وخاک را سبب‌شده و در نهایت منجر به بهبود وضعیت معیشتی ساکنان حوزه آبخیز و پایداری این بوم‌سازگان‌های طبیعی را به‌دنبال خواهد داشت. از ویژگی‌های این الگوی ارائه‌شده می‌توان به ۱- جامعیت و فراگیری گروداران (علمی، اجرایی،

References

- Alvandi, E., & Sadoddin, A. (2019). Developing a Web-Based integrated bayesian decision support system for environmental problems in a semi-arid watershed. *Environmental Science & Policy*, 141, 80-96. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.12.021>
- Arabkhedri, M., Shadfar, S., Jafari-Ardakani, A., Bayat, R., Khajavi, E., & Mahdian, M. H. (2018). Improving Water Erosion Estimates for Iran. *Watershed Management Research Journal*, 31(3), 13-27. <https://doi.org/10.22092/WMEJ.2018.121424.1106> (In Persian)
- Athari, Z., Pezeshki Rad, G., Abbasi, E., & Alibaigi, A. (2016). Explaining a Model for Integrated Watershed Management in Iran. *Geographical Planning of Space*, 6(20), 209-226. (In Persian)
- Athari, Z., Pezeshki Rad, G., Abbasi, E., & Alibaigi, A. (2017). Technical Repor: Challenges facing watershed management in iran by using delphi technique. *Journal of Watershed Management Research*, 8(15), 268-279. <https://doi.org/10.29252/jwmr.8.15.268> (In Persian)
- Badham, J., Elsayah, S., Guillaume, J., Hamilton, S., Hunt, R., Jakeman, A.J., & Pierce, S. (2019) Effective modeling for Integrated Water Resource Management: A guide to contextual practices by phases and steps and future opportunities. *Environmental Modelling and Software*, 116, 40-56. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.02.013>
- Baniasadi, M., & Palouj, M. (2020). Designing a good governance pattern of groundwater resource at the catchment area level, Orzoo'iyeh Basin, Kerman Province. *Watershed Engineering and Management*, 12(2), 514-525. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.120965.1448> (In Persian)
- Biniaz, M., Tamassoki, E. (2023). Analyzing dimensions of integrity in the Concept of Integrated Watershed Management in Iran. *Integrated Watershed Management*, 3(1), 38-53. <https://doi.org/10.22034/IWM.2023.2001343.1074> (In Persian)

- Council, N.R. (1999). *New strategies for America's watersheds*: National Academies Press.
- Esmali, A., & Abdollahi, K. (2011). *Watershed Management & Soil Conservation*: University of Mohaghegh Ardabili. (In Persian)
- Galewski, N. (2010). *Campesino Community Participation in watershed management*. (MSc), Georgia Institute of Technology.
- Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (2012). *National master plan for the Integrated Watershed Management in the country*. Retrieved April 24, 2023, from <http://watershedmg.ir>
- Gregersen, H. M., Ffolliott, P. F., & Brooks, K. N. (2009). *Integrated watershed management: Connecting people to their land and water* (H. Parvaresh, A. Nohegar, & E. Parvaresh, Trans.): University of Hormozgan. (In Persian)
- Grinnell Jr, Richard M, & Unrau, Yvonne. (2005). *Social work research and evaluation: Quantitative and qualitative approaches*: Cengage Learning.
- Hafeznia, M. (2022). *An Introduction to the Research Method in Humanities*: SAMT. (In Persian)
- Hajarian, A. (2022). Analysis of Barriers and Challenges of Rangeland Management (Case Study: Rangelands of Kermanshah province). *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 125-134. <https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.125> (In Persian)
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S.H.R. (2017a). Watershed Health (Part three): Vigor, Organization and Resilience Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 5(16), 1-7. (In Persian)
- Hazbavi, Z., & Sadeghi, S. H. (2017b). Watershed Health (Part two): Pressure, State and Response Conceptual Model. *Extension and Development of Watershed Management*, 4(15), 25-30. (In Persian)
- Islamic Republic News Agency. (2018). *The national Integrated Watershed Management plan is being implemented in 33 Watershed of the country*.
- Jannatchenar, M., & Kolahi, M. (2023). *Social and legal conflicts in rangeland management and utilization*. Takpub. (In Persian)
- Karimi, Z. (2024). Governance of water or watershed in Iran, *Extension and Development of Watershed Management*, 11(43), 40-49. <https://doi.org/10.22034/WMJ.2024.20207.20.1049> (In Persian)
- Karimi, Z., & Talebi, A. (2022). Presenting the integrated management model based on ecosystem service indicators in Zayandehroud watershed. *Extension and Development of Watershed Management*, 10(37), 13-20. (In Persian)
- Kazemi, M., Malekmohamadi, I., Hossini, S.M., & Sharifi, F. (2006). Design of Integrated Management System Model for Sustainable Development of Natural Resources: The case study of Hable-Rud watershed. *Dynamic agriculture (Iranian agricultural knowledge)*, 3(1), 1-19. (In Persian)
- McDuff, M.M., Appelson, G. S., Jacobson, S.K., & Israel, G.D. (2008). Watershed management in north Florida: public knowledge, attitudes and information needs. *Lake and Reservoir Management*, 24(1), 47-56. <https://doi.org/10.1080/07438140809354050>
- Mirakhorlou, K., & Akhavan, R. (2017). Area changes of Hyrcanian Forests during 2004 to 2016. *Iran Nature*, 2(3), 40-45. <https://doi.org/10.22092/IRN.2017.112967> (In Persian)
- Moghaddasi, M., Morid, S., Delavar, M., & Hosenni Safa, H. (2019). Challenges and compromises of agricultural water supply and environmental water right in the lake Urmia Basin. *Iran-Water Resources Research*, 15(2), 26-38. (In Persian)
- Mohseni Saravi, M., & Mortezaei Frizhandi, G. (2015). *Integrated Watershad Mngement (2nd ed.)*. University of Tehran Press. (In Persian)
- Parsazadeh Kelvanaq, M., Esmali Ouri, A., Mostafazadeh, R., & Hazbavi, Z. (2021). Concept of disaster resilience in integrated watershed management. *Extension and Development of Watershed Management*, 9(32), 1-13. (In Persian)
- Pegram, G., Li, Y., Quesne, T.L., Speed, R., Li, J., & Fuxin, S. (2013). *River Basin Planning Principles: Procedures and Approaches for Strategic Basin Planning*.

- Rahpou, F., Ghayour, H., & Rajabi, Z. (2018). The water crisis in Gavkhoni watershed and how to adapt it through the establishment of a comprehensive water pricing system (Case Study: The last water supply facility - Koohrang 3rd dam and tunnel). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(18), 221-234. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.21610.1303>
- Sadeghi, S.H.R., & 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.R., Khaledi Darvishan, A., Vafakhah, M., Moradi Rekabdarkolaei, H., Nasiri Khiavi, A., Rajabi, M. R., Zaki, S. A. (2021). Integrated and problem-based management of the watershed using strategic planning framework. *Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering*, 15(52), 63-66. (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Payfeshoordeh, A., Pirooznia, Z., Piri, S., Hamzeh Bibalani, M., Khairparast, M., & Chamani, R. (2023). Revisiting the detailed-implementation studies of the Fakhran Watershed in South Khorasan based on the integrated watershed management plan. *Integrated Watershed Management*, 2(4), 1-16. <https://doi.org/10.22034/IWM.2023.198648.7.1053> (In Persian)
- Sadoddin, A., Sheikh, V.B., Ownegh, M., Najafi Nejad, A., & Sadeghi, S.H.R. (2016). Development of a national mega research project on the integrated watershed management for Iran. *Environmental Resources- Research*. 4(2), 231-238. <https://doi.org/10.22069/ijerr.2017.3418>
- Sadoddin, A., Shahabi, M., & Bai, M. (2017). *Integrated Watershed Assessment and management*. Gorgan University of Agricultural Sciences Natural and Resources Press. (In Persian)
- Sadoddin, A., Ownegh, M., Sheikh, V., Najafinejad, A., Sadeghi, S. H., & Zare Garizi, A. (2018). River basin/watershed governance and planning. *Extension and Development of Watershed Management*, 6(22), 39-43. (In Persian)
- Sadoddin, A., Sheikh, V.B., Ownegh, M., Najafi Nejad, A., & Sadeghi, S.H.R. (2016). Development of a national mega research Project on the integrated watershed management for Iran. *Environmental Resources Research*, 4(2), <https://doi.org/10.22069/IJERR.2017.3418> (In Persian)
- Safikhani, S., & Holisaz, A. (2024). The investigation of the evolution of environmental statehood model in Iran, *Environment and Interdisciplinary Development*, 8(82), 89-107. <https://doi.org/10.22034/envj.2023.393899.1288> (In Persian)
- Talebi, A., Kalehhouei, M., & Gholamshahi, F. (2022). Application of quantitative strategy decision-making tool in the formulation of strategic management (Case study: Mohammad Abad Ganbaki watershed, Kerman Province). *Journal of Arid Biome*, 12(2), 43-56. <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2023.19593.1917> (In Persian)
- Tamassoki, E., Bahrami Jaf, S., & Tamassoki, E. (2024). Analyzing the conceptual model of environmental governance in Iran. *Natural Resources Governance*, 1(1), 1-13. <https://doi.org/10.22059/jnrg.2024.372377.1008> (In Persian)
- Tamassoki, E., Mohammadi Kangarani, H., Ashtarian, K., Arashk, H., & Naderi, F. (2022). Analysis of land reforms law based on Kingdon's theory of multiple streams. *Strategic Studies of public policy*, 12(43), 130-162. <https://doi.org/10.22034/SSPP.2022.546449.3114> (In Persian)
- Tamassoki, E., Mohammadi Kangarani, H., Ashtariyan, K., Holisaz, A., & Naderi, F. (2021). Problemology of Iran's environmental policy-making. *Journal of Public Policy*, 7(2), 109-125. <https://doi.org/10.22059/JPPOLICY.2021.82650> (In Persian)
- Tamassoki, E., Soleymani, Z., Bahrami, F., & Abbasgharemani, H. (2014). A survey of drought and variation of vegetation by statistical indexes and remote sensing (Case study: Jahad forest in Bandar Abbas). In *IOP conference series: Earth and environmental science*, 20(1), 012033. <https://doi.org/10.1088/17551315/20/1/012033>
- Tamassoki, E., Tamassoki, E., & Asadi Meyabadi, A. (2022). Climatic Analysis,

Routing and Simulation of Extreme Dust Storms in the West of Iran (Case Study: Kermanshah Synoptic Station). *Integrated Watershed Management*, 2(1), 33-47. <https://doi.org/10.22034/IWM.2022.545938.1023> (In Persian)

Voinov, A., & Costanza, R. (1999). Watershed management and the web. *Journal of Environmental Management*, 56(4), 231-245.

<https://doi.org/org/10.1006/jema.1999.0281>

Zakeri Mahabadi, E., Yazdani Zazerani, M.R., Mohamadi Kangarani, H. (2023). Analysis of actors' positions on the water governance network of Zayandeh Rud River Basin: A focus on Isfahan Province's Geographic Area. *Strategic Studies Quarterly*, 26(2), 7-33.

<https://doi.org/10.22034/srq.2023.172241>

(In Persian)

Drought induced vegetation changes in south of Kerman Province

Saeid Barkhori^{*1}, Mojtaba Dolatkordestani¹, Kimia Javaheri²

1. Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Iran

2. Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Natural Resources, University of Tehran, Iran

* Corresponding author: Barkhori.s@gmail.com

(Received: 27 April 2024

Revised: 03 Jun 2024

Accepted: 10 Jun 2024)

Extended Abstract

Introduction: Drought, as an important climatic condition, has affected extensive areas of the world. Vegetation cover is also affected by low precipitation, high temperatures, and evaporation in dry ecosystems. These impacts can be defined as ecological drought on vegetation cover. Long-term droughts can have dangerous effects on vegetation cover. The SPEI index, which is based on the difference between precipitation and potential evapotranspiration, has been used in various studies to examine the spatiotemporal patterns of drought. Additionally, the use of satellite images with high spatial and temporal resolution is an effective tool for studying vegetation cover changes and the impacts of drought.

Materials and methods: To investigate the impact of drought on vegetation cover in the southern Kerman regions, the Enhanced Vegetation Index (EVI) from MODIS satellite imagery and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) were used. In this research, EVI derived from the MOD13Q1 MODIS sensor product with a spatial resolution of 250 meters and a temporal resolution of 16 days was used. First, the monthly average of this index was estimated for the study area from the beginning of 2001 to the end of 2022 on the Google Earth Engine platform, and then the monthly average over the study period was calculated. Based on the results of this section, the two months with the highest EVI values were selected. To investigate the impact of meteorological drought on vegetation cover, the SPEI index with different time scales of 3, 6, 9, and 12 months for the months of March and April over 22 years (2001-2022) was calculated using MATLAB software. The sensitivity of EVI to SPEI in March and April was calculated by the Pearson correlation coefficient in the Trend Analysis Module (ETM) of TerrSet software. Then, the slope of the relationship between the 3, 6, 9, and 12-month SPEI and EVI based on the Chatfield (2016) linear regression equations in the ETM model of TerrSet software was calculated to investigate the impact of SPEI fluctuations at different time scales on vegetation cover.

Results and Discussion: According to the results, the months of April and March have the highest EVI values throughout the year, indicating maximum growth and vitality of vegetation during these months. The months of January and December have the lowest average EVI values. The months of April and March, which had the highest EVI values, were selected to investigate the impact of drought on vegetation cover. According to the results obtained in March, the highest correlation of EVI was with the 12-month SPEI, covering 40.4% of the study area. Furthermore, in this month, the lowest correlation of EVI was with the 9-month SPEI, covering around 15.55% of the study area. In April, the highest correlation of EVI was with the 12-month SPEI, followed by the 6-month SPEI, covering 25.53% and 20.57% of the study area, respectively. In most areas of Qalat, Roudbar Jonob, Jiroft, Faryab, Manoojan, Amberabad, and Arzueie, especially from the central regions of the study area towards the south, the 12-month SPEI had the highest correlation with EVI. The lowest correlation of EVI was with the 9-month SPEI, followed by the 3-month SPEI, covering 10.75% and 15.44% of the study area, respectively. In March, the positive high, moderate, and low classes accounted for 29.02%, 19.41%, and 15.03% of the study area, respectively. These percentages for April were 41.89%, 28.1%, and 14.69%. The lowest percentage of area in both months belonged to the very high negative and high negative classes. In March, areas in the north, northeast, and parts of the west of the study area, including most areas of Fahraj, Narmashir, Bam, and Rigan had very low and low sensitivity to drought, while areas in the central regions towards the south, southwest, and southeast, including the south regions of Jiroft, west of Roudbar Jonob, and most areas of Kahnuj, showed the highest sensitivity of EVI to SPEI. In April, EVI in major parts of the western, northwestern, central, east, southeast, south, and southwest regions of the study area showed very high and high sensitivity to drought compared to SPEI. The lowest sensitivity of EVI to drought in this month was related to the northeastern parts.

Conclusion: Based on the results of the correlation analysis of EVI with SPEI at different time scales, in both months of March and April, the highest correlation of EVI with SPEI has been with SPEI 12, 6, 3, and 9 months respectively. Therefore, the greatest impact of drought on vegetation cover in southern Kerman is related to SPEI 12 months, with the least impact related to SPEI 9 months. These results are due to different environmental conditions in the study area, which have led to different results in each region. The results of the sensitivity of EVI to SPEI show that the highest sensitivity is allocated primarily to high positive, medium positive, and low positive classes, mainly related to central, western, southwestern, south to southeast and eastern parts of the study area. Additionally, the results of sensitivity of EVI to SPEI show that the lowest sensitivity of vegetation cover to drought is related to the northeastern regions, some parts of the southeastern and northern areas of the study area. These regions mainly include barren lands or pastures with poor vegetation cover. Therefore, due to the lack and scarcity of vegetation cover, the sensitivity of EVI to SPEI is at its lowest level. According to the results of this research, environmental conditions such as climatic characteristics, topography, type of vegetation cover, human management, and so on have a significant influence on determining the relationship between vegetation cover index and meteorological drought index. It is suggested that future research, considering these factors, prioritize predicting this phenomenon and modeling changes in vegetation cover under the influence of drought.

Keywords: Linear regression analysis, Pearson correlation, EVI, SPEI.

Citation: Barkhori, S., Dolatkordestani, M., & Javaheri, K. (2025). Drought induced vegetation changes in south of Kerman Province. *Integrated Watershed Management*, 4(4), 18-31. doi: 10.22034/iwm.2024.2027447.1150

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 تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشکسالی در جنوب استان کرمان

سعید برخوردار^{۱*}، مجتبی دولت کردستانی^۱، کیمیا جواهری^۲

۱- گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، ایران

۲- گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*نویسنده مسئول: Barkhori.s@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

چکیده مبسوط

مقدمه: خشکسالی به عنوان یک وضعیت اقلیمی مهم، مناطق گسترده‌ای از جهان را تحت تأثیر قرار داده است. این پدیده در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. پوشش گیاهی نیز به‌عنوان یک عامل اساسی در اکوسیستم‌های خشک، تحت تأثیر بارش کم، دمای بالا و تبخیر و تعرق قرار دارد. خشکسالی‌های طولانی مدت می‌تواند تأثیرات خطرناکی بر پوشش گیاهی داشته باشد. برای بررسی الگوهای زمانی-مکانی خشکسالی، شاخص SPEI که حاصل اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل است، در مطالعات مختلف به‌کار گرفته شده است. همچنین، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، ابزاری مؤثر در بررسی تغییرات پوشش گیاهی و تأثیرات خشکسالی است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی در نواحی جنوب کرمان، شاخص پوشش گیاهی EVI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و نیز شاخص خشکسالی هوشناسی SPEI مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش از EVI به دست آمده از محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز استفاده شد. ابتدا میانگین ماه به ماه این شاخص برای محدوده مورد مطالعه از ابتدای ۲۰۰۱ تا انتهای ۲۰۲۲ در پلتفرم Google Earth Engine برآورد شد و سپس میانگین ماهانه دوره مطالعاتی محاسبه گردید. با استفاده از نتایج این بخش، دو ماه که دارای بیشترین مقدار EVI بود انتخاب شد. به‌منظور بررسی اثر خشکسالی هوشناسی بر پوشش گیاهی ابتدا شاخص SPEI با مقیاس‌های زمانی مختلف ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل طی ۲۲ سال (۲۰۰۱-۲۰۲۲) توسط نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. دقت حساسیت EVI نسبت به SPEI در ماه مارس و آوریل، توسط ضریب همبستگی پیرسون، در مدل‌ساز روند زمین (ETM) نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد. سپس شیب خط اثر رابطه SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و EVI بر اساس معادلات رگرسیون خطی Chatfield (۲۰۱۶) در مدل‌ساز ETM نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد تا اثر نوسانات SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف بر پوشش گیاهی بررسی شود.

نتایج و بحث: با توجه به نتایج ماه‌های آوریل و مارس به‌ترتیب بیشترین مقدار EVI را در طول سال دارند که نشان‌دهنده حداکثر رشد و شادابی پوشش گیاهی در این ماه‌ها است. ماه‌های ژانویه و دسامبر نیز کمترین مقدار میانگین شاخص EVI را به خود اختصاص داده‌اند. در ماه مارس، بیشترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه است که معادل ۴۰/۴٪ مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. همچنین در این ماه، کمترین همبستگی EVI با SPEI ۹ ماهه بود که در حدود ۱۵/۵۵٪ مساحت منطقه است. در ماه آوریل نیز، بیشترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه و پس از آن SPEI ۶ ماهه است که به‌ترتیب در ۵۳/۲۵٪ و ۲۰/۵۷٪ محدوده مطالعاتی مشاهده شد. در اکثر شهرستان‌های قلعه‌گنج، رودبار جنوب، جیرفت، فاریاب، منوجان، عنبرآباد و ارزوئیه به خصوص از نواحی مرکز محدوده مورد مطالعه به سمت جنوب، SPEI ۱۲ ماهه بیشترین همبستگی را با شاخص EVI دارد. کمترین همبستگی EVI نیز با SPEI ۹ ماهه و پس از آن ۳ ماهه به‌ترتیب در ۱۰/۷۵٪ و ۱۵/۴۴٪ منطقه مشاهده گردید. در ماه مارس، کلاس‌های دقت حساسیت EVI به SPEI، مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم به‌ترتیب ۲۹/۰۲، ۱۹/۴۱ و ۱۵/۰۳٪ از منطقه را به خود اختصاص دادند. این مقادیر برای ماه آوریل نیز به ترتیب ۴۱/۸۹، ۲۸/۱ و ۱۴/۶۹٪ می‌باشد. همچنین کمترین درصد مساحت نیز در هر دو ماه مربوط به کلاس‌های منفی خیلی زیاد و منفی زیاد می‌باشد. در ماه مارس شاخص EVI در قسمت‌هایی از شمال، شمال‌شرق و بخش‌هایی از غرب محدوده مطالعاتی شامل اکثر مساحت شهرستان‌های فهرج، نرماشیر، بهم، ریگان حساسیت خیلی کم و کم را به خشکسالی داشته در حالی که در بخش‌هایی از غرب منطقه، نواحی مرکزی به سمت جنوب، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق شامل نواحی جنوب شهرستان جیرفت، غرب شهرستان رودبار جنوب، اکثر نواحی کهنوج، بیشترین حساسیت EVI به SPEI مشاهده شده است. با توجه به مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی در ماه آوریل نیز شاخص EVI در عمده قسمت‌های غربی، شمال‌غربی، مرکزی، شرق و جنوب‌شرق، جنوب و جنوب‌غرب محدوده مطالعاتی دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت SPEI است. در این ماه نیز کمترین حساسیت EVI به خشکسالی مربوط به قسمت‌های شمال‌شرق است.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج آنالیز همبستگی EVI با SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف، در هر دو ماه مارس و آوریل، بیشترین همبستگی EVI به‌ترتیب با SPEI ۱۲، ۶، ۳ و ۹ ماهه بوده؛ بنابراین بیشترین تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در جنوب کرمان مربوط به SPEI ۱۲ ماهه است و کمترین آن مربوط به SPEI ۹ ماهه است. این نتایج به علت شرایط محیطی متفاوت در محدوده مورد مطالعه است که باعث شده در هر منطقه نتایج متفاوتی به دست آید. نتایج دقت حساسیت EVI به SPEI نشان داد که بیشترین دقت حساسیت به‌ترتیب به کلاس‌های مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم اختصاص دارد که عمدتاً به شهرستان‌های مرکزی، غربی، جنوب‌غربی، جنوب تا جنوب‌شرق و بخش‌هایی از شرق محدوده مطالعاتی مربوط می‌شود. همچنین نتایج حساسیت EVI به SPEI نشان داد که کمترین حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی مربوط به نواحی شمال‌شرق، بخش‌هایی از جنوب‌شرق و شمال محدوده مطالعاتی می‌باشد. این نواحی عمدتاً اراضی بایر و یا مرتع با تاج پوشش فقیر را شامل می‌شود. با توجه به نتایج، شرایط محیطی مانند ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و مدیریت انسان و غیره تأثیر بسیار مهمی در تعیین ارتباط بین شاخص‌های پوشش گیاهی و خشکسالی هوشناسی دارد. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی با در نظر گرفتن عوامل مذکور، پیش‌بینی این پدیده و مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر پدیده خشکسالی در اولویت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز رگرسیون خطی، همبستگی پیرسون، EVI، SPEI

استناد: برخوردار، س.، دولت‌کردستانی، م.؛ و جواهری، ک. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشکسالی در جنوب استان کرمان. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۳۱-۱۸.

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

ترکیب و ساختار و پویایی گیاهان اثرگذار باشد (Shahzad *et al.*, 2019). بنابراین انجام مطالعاتی در خصوص بررسی خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی از اهمیت بسیاری برخوردار است. شاخص SPEI¹ که حاصل اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل است به‌طور وسیع در مطالعات مختلف برای بررسی الگوهای زمانی-مکانی خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است (Zhao *et al.*, 2023). علاوه بر آن، سنجش‌ازدور ابزاری است که کاربرد وسیعی در بررسی تغییرات و کاهش پوشش گیاهی دارد و تصاویر ماهواره‌ای که به‌طور منظم و با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا از سطح زمین تهیه می‌شود، می‌تواند ابزاری کارآمد در بررسی پوشش گیاهی و تغییرات آن باشد. در این راستا، بررسی همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش‌ازدور از جمله EVI² و نیز شاخص‌های خشکسالی همچون SPEI می‌تواند ما را به شناخت صحیحی از تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی برساند. تاکنون مطالعات متعددی به‌منظور بررسی تأثیر شاخص‌های خشکسالی بر پوشش گیاهی در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است.

در پژوهشی Mazidi و همکاران (۲۰۲۳) با تحلیل خشکسالی شهر کرمان دریافتند که شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی در این مطالعه روند افزایشی داشته و شدت و مدت خشکسالی را نشان می‌دهند و نقشه پوشش گیاهی منطقه کاهش مساحت را نشان داده و روند NDVI سیری زولی داشته است. در مطالعه‌ای Won و Kim (۲۰۲۳) واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی را با استفاده از شاخص‌های SPI و VHI مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی هواشناسی بر اساس نوع کاربری اراضی متفاوت است. در پژوهشی Nejadrekabi و همکاران (۲۰۲۲) با

خشکسالی وضعیت اقلیمی مهمی است که بخش وسیعی از جهان را تحت تأثیر خود قرار داده است (Khosravi *et al.*, 2018; Bagheri *et al.*, 2021) فراوانی و شدت آن در سال‌های اخیر تحت تأثیر تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (Ma *et al.*, 2023). خشکسالی هواشناسی حاصل تغییر پارامترهای هواشناسی از جمله بارندگی است که می‌تواند منجر به خشکسالی هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی گردد (Won & Kim, 2023). به‌طور کلی خشکسالی هواشناسی اثر مستقیم بر سلامت اکوسیستم از جمله رشد و تولید کشاورزی دارد که می‌تواند در نهایت به خشکسالی اکولوژیکی منجر گردد و کاهش تنوع زیستی و تخریب اکوسیستم را رقم بزند (Boori *et al.*, 2022). از آنجایی که پوشش گیاهی به‌عنوان یک مؤلفه اصلی در اکوسیستم‌های خشکی، رابط اصلی اتمسفر، آب و خاک محسوب می‌شود، به شدت تحت تأثیر بارش کم، دمای بالا و تبخیر و تعرق بالا قرار می‌گیرد (Kong *et al.*, 2017). بدین ترتیب اثر خشکسالی هواشناسی بر پوشش گیاهی را می‌توان به‌عنوان خشکسالی اکولوژیکی پوشش گیاهی تعریف کرد (Won & Kim, 2023).

با توجه به حساسیت مناطق خشک و نیمه‌خشک و بارش‌های کم و غیر یکنواخت، اثرات خشکسالی در این مناطق بیش از حد تشدید شده و روی منابع آبی، کشاورزی و پوشش گیاهی نمود بیش‌تری می‌باید. پوشش گیاهی طبیعی از جمله مهم‌ترین عوامل سلامت اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شود که به شدت تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد. خشکسالی‌های طولانی‌مدت اثرات خطرناکی بر پوشش گیاهی دارد (Bagheri *et al.*, 2021) به نحوی که می‌تواند بر تولید،

1. Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index
2. Enhanced vegetation index

در جنوب کرمان با استفاده از سنجش از دور و شاخص خشکسالی هواشناسی است. تفاوت این پژوهش با تحقیقات قبلی این است که در اینجا سعی شده اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی به صورت پیکسل به پیکسل ارزیابی قرار گردد و این ارزیابی در مقیاس‌های مختلف صورت گرفته است.

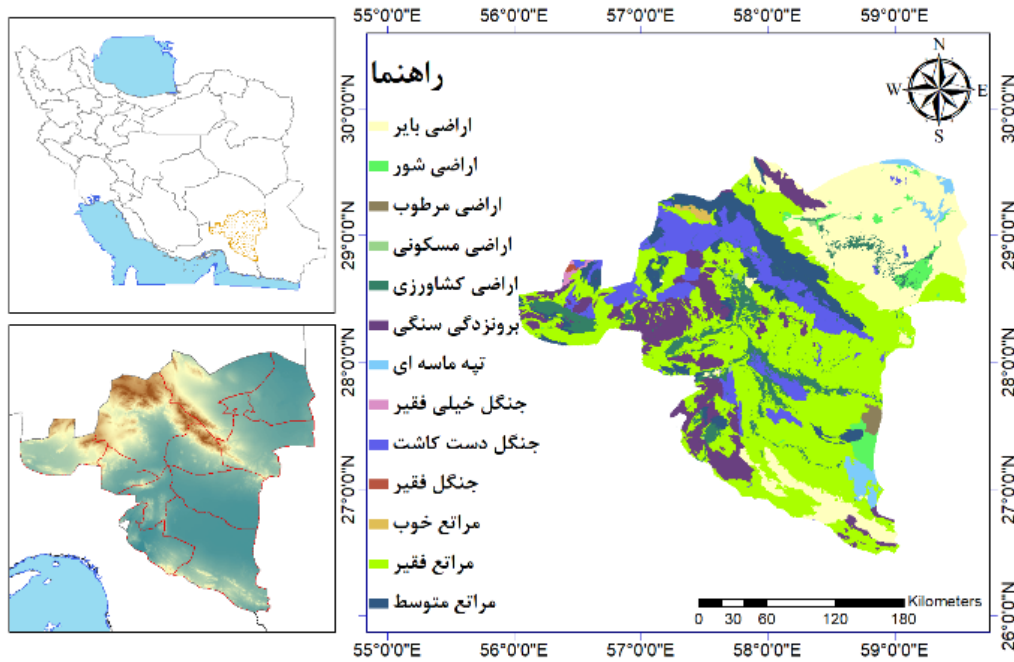
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران از لحاظ آب و هوایی یکی از منحصربه‌فردترین کشورهاست. مجاورت ایران با منطقه نزول پرفشارهای جنب‌مداری باعث شده که نوار بیابانی نیم‌کره شمالی از مرکز این کشور عبور کند و شرایط نامساعد طبیعی را بر وسعت زیادی از ایران از جمله استان کرمان حکم‌فرما سازد (Nasabpour *et al.*, 2017). استان کرمان با وسعت ۱۸۳ هزار کیلومتر مربع، حدود ۱۱ درصد مساحت کشور را شامل می‌شود. این استان در جنوب‌شرقی فلات مرکزی ایران واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه در استان کرمان حدود ۱۴۰ میلی‌متر است که ۵۸ درصد متوسط بارش سالانه کشور و ۱۹ درصد میانگین بارش کره زمین را شامل می‌شود. محدوده مطالعاتی در پژوهش حاضر، شهرستان‌های جنوبی استان کرمان را در بر می‌گیرد (شکل ۱). این شهرستان‌ها شامل ارزوئیه، بم، جیرفت، رودبار جنوبی، ریگان، عنبرآباد، فاریاب، فهرج، قلعه گنج، کهنوج، منوجان و نرماشیر می‌باشد. مساحت محدوده انتخابی ۶۴/۸ هزار کیلومتر مربع می‌باشد. نواحی شمال شرق، بخش‌هایی از جنوب شرق و شمال محدوده مطالعاتی عمدتاً اراضی بایر و یا مرتع با تاج پوشش فقیر را شامل می‌شود (Mazidi *et al.*, 2023; Savari *et al.*, 2024).

استفاده از شاخص‌های SPEI و NDVI مناطق در خطر خشکسالی را در استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شدت خشکسالی در نواحی شمالی استان بیش‌تر از سایر قسمت‌ها است. در پژوهشی Javed و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از شاخص SPEI و EVI، اثر خشکسالی بر فنولوژی گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ به ترتیب خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال در بازه زمانی بودند و تغییرات سریع در فنولوژی گیاهی بین این سال‌ها مشاهده شده است. Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) اثر خشکسالی هواشناسی بر پویایی پوشش گیاهی در ایران را با استفاده از SPEI و EVI مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که پوشش گیاهی در نواحی جنوب غرب، جنوب شرق، مرکزی و سواحل خلیج فارس نسبت به خشکسالی حساسیت بیش‌تری دارند.

در ۸۰ درصد نواحی ایران طول فصل گرم در حال افزایش است (Heydari Alamdarloo *et al.*, 2021). این موضوع باعث افزایش حساسیت پوشش گیاهی به نوسان اقلیم و خشکسالی می‌شود. از این‌رو ارزیابی اثر نوسانات اقلیمی که عموماً با شاخص‌های ارزیابی خشکسالی هواشناسی صورت می‌گیرد، می‌تواند در راستای مدیریت، حفظ و احیای پوشش گیاهی نقش شایانی داشته باشد. همان‌طور که بیان شد، می‌توان با استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، اثر خشکسالی بر پویایی پوشش گیاهی را مورد ارزیابی قرار داد و به نتایج دقیق و گسترده‌ای در پیرامون این موضوع رسید. با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر نواحی جنوبی استان کرمان و اهمیت بررسی تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در این نواحی، هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر خشکسالی



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی

Figure 1- The location of the study area

شاخص EVI

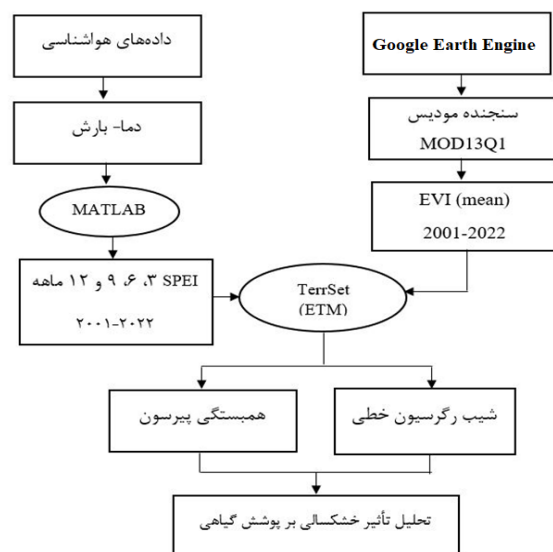
در مناطق با پوشش گیاهی غیرمتراکم، ترکیب پیچیده نوع خاک، آثار جوی و پوشش گیاهی، امکان استخراج اطلاعات قابل‌اعتماد را از داده‌های ماهواره‌ای کاهش می‌دهد؛ بنابراین همواره تلاش شده تا شاخص‌های پوشش گیاهی که قادرند آثار ناخواسته عواملی مانند خاک زمینه را کاهش دهند، ارائه شود (Bagheri *et al.*, 2021; Eskandari Damaneh *et al.*, 2021a). Huete و همکاران (۲۰۰۲) شاخص پوشش گیاهی EVI را برای استفاده در داده‌های MODIS پیشنهاد کرده‌اند که در معادله (۷) الگوریتم باندی برای محاسبه‌ی آن ارائه شده است.

$$EVI = \frac{NIR-R}{NIR+C1 \times R - C2 \times B + L} (1 + L) \quad (1)$$

در این معادله NIR، بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، R بازتاب در باند قرمز، B بازتاب در باند آبی، L برابر ۱، C1 برابر ۶ و C2 برابر ۷/۵ می‌باشد. از مزایای این شاخص این است که با پیشرفت به‌وسیله‌ی بازتاب باند آبی در محدوده LAI (شاخص سطح برگ)، اثرات خاک

روش تحقیق

به‌منظور بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی در نواحی جنوبی استان کرمان، شاخص پوشش گیاهی EVI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و نیز شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI استفاده شد. مراحل انجام پژوهش به‌طور اختصار در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام پژوهش

Figure 2- Diagram of research steps

و با استفاده از دو پارامتر بارش (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص SPEI به روش برآورد تبخیر و تعرق ارتباطی ندارد (Stagge *et al.*, 2014). در این مطالعه برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از معادله Thornthwaite (۱۹۴۸) استفاده شد.

$$PET = 16N_m \left(\frac{10T_m}{I}\right)^a \quad (۲)$$

در این معادله N_m ضریب اصلاحی است که بر مبنای ماه موردنظر و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود. T_m میانگین دمای ماه موردنظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، I شاخص حرارتی برای کل سال و a که بر مبنای I محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از معادله (۳) بیلان آب اقلیمی ماهانه و در گام بعدی $X_{i,j}^k$ از معادله (۴) محاسبه شد. لازم به ذکر است که در این معادلات i سال موردنظر، j ماه موردنظر و k مقیاس زمانی می‌باشد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (۳)$$

$$X_{i,j}^k = \begin{cases} \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,l} & \text{if } j < k \\ \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,l} & \text{if } j \geq k \end{cases} \quad (۴)$$

Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) توزیع‌های سازگار با سری مشاهدات D را مورد بررسی و آزمون قرار دادند و نتیجه گرفتند که توزیع سه‌پارامتری لگ-لجیستیک مناسب‌ترین توزیع سازگار با سری بیلان آب اقلیمی ماهانه است و انتخاب مناسبی برای استاندارد کردن سری مشاهدات D برای تعیین SPEI می‌باشد. تابع چگالی احتمال توزیع سه‌پارامتری لگ-لجیستیک به صورت رابطه (۵) می‌باشد.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]^{-2} \quad (۵)$$

در رابطه (۵) α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاسی، شکلی و مرزی برای مقادیر D در بازه $\gamma < D < \infty$ هستند. این پارامترها را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف از روی مشاهدات برآورد نمود. از میان آن‌ها روش گشتاورها مطمئن‌تر و ساده‌ترین روش است (Ahmad *et al.*, 1988). وقتی گشتاورها محاسبه

پس‌زمینه را تصحیح می‌کند و از اثرات اتمسفر و پخش آئروسول می‌کاهد. در واقع EVI یک NDVI تغییر یافته است که در آن فاکتور تنظیم خاک (L) و دو ضریب C_1 و C_2 لحاظ می‌گردد (Behrang Manesh *et al.*, 2019; Bagheri *et al.*, 2021; Moradi *et al.*, 2023; Alamdarloo *et al.*, 2024). این روش حساسیت به نواحی پوشش گیاهی را افزایش و کاهش آثار جوی را موجب می‌شود. در این پژوهش از EVI به دست آمده از محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز استفاده شد. ابتدا میانگین ماه به ماه این شاخص برای محدوده مورد مطالعه از ابتدای ۲۰۰۱ تا انتهای ۲۰۲۲ در پلتفرم Google Earth Engine برآورد شد و سپس میانگین ماهانه دوره مطالعاتی محاسبه گردید. با استفاده از نتایج این بخش، دو ماه که دارای بیش‌ترین مقدار EVI بود انتخاب شد. با این کار دو ماه که دارای بیش‌ترین مقدار پوشش گیاهی برای ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی انتخاب شد. Google Earth Engine یک پلتفرم ابری برای تحلیل داده‌های مکانی است که توسط شرکت گوگل ارائه شده است. این پلتفرم برای پردازش داده‌های مکانی از منابع مختلفی مانند تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های راداری و لیزری، داده‌های جوی و غیره استفاده می‌کند.

شاخص SPEI

در این تحقیق شاخص SPEI با مقیاس‌های زمانی مختلف ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل طی ۲۲ سال (۲۰۰۱-۲۰۲۲) توسط نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. شاخص SPEI که یک شاخص مناسب برای پایش و ارزیابی شدت نوسانات اقلیمی و تعیین ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در شرایط روند افزایش دمای کره زمین می‌باشد (Vicente-Serrano *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2024) که توسط Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شده است. شاخص SPEI مبتنی بر محاسبه بیلان آب اقلیمی است (Bazarafshan & Hejabi, 2016; Eskandari Damaneh *et al.*, 2022a)

سال و میانگین EVI آن ماه در طول دوره آماری می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که +۱ به معنای همبستگی مثبت کامل، صفر به معنی عدم همبستگی و -۱ به معنی همبستگی منفی کامل است (جدول ۱) (Eskandari, Damaneh et al., 2021b).

جدول ۱- طبقه‌بندی دقت حساسیت EVI به SPEI بر

مبنای ضریب همبستگی پیرسون (Evans, 1996)

Table 1- Accuracy classification of EVI sensitivity to SPEI based on Pearson correlation coefficient

ردیف	کلاس	مقادیر r
1	همبستگی منفی خیلی زیاد	(-1) تا (-0.8)
2	همبستگی منفی زیاد	(-0.8) تا (-0.6)
3	همبستگی منفی متوسط	(-0.6) تا (-0.4)
4	همبستگی منفی کم	(-0.4) تا (-0.2)
5	همبستگی منفی خیلی کم	(-0.2) تا (0)
6	همبستگی مثبت خیلی کم	(0) تا (0.2)
7	همبستگی مثبت کم	(0.2) تا (0.4)
8	همبستگی مثبت متوسط	(0.4) تا (0.6)
9	همبستگی مثبت زیاد	(0.6) تا (0.8)
10	همبستگی مثبت خیلی زیاد	(0.8) تا (1)

میزان حساسیت رابطه EVI و SPEI

در این پژوهش شیب خط اثر رابطه SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و EVI بر اساس رابطه (۹) و معادلات رگرسیون خطی Chatfield (۲۰۱۶) در مدل‌ساز ETM نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد تا اثر نوسانات SPEI در مقایسه‌های زمانی مختلف بر پوشش گیاهی بررسی شود.

$$\text{Slope} = \frac{21 \sum_{i=2001}^{2022} \text{SPEI}_i \text{EVI}_i - \sum_{i=2001}^{2022} \text{SPEI}_i \sum_{i=2001}^{2022} \text{EVI}_i}{21 \left(\sum_{i=2001}^{2022} \text{SPEI}_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{2022} \text{SPEI}_i \right)^2 \right)} \quad (9)$$

مقدار شیب، میزان وابستگی متغیرها را نشان می‌دهد. شیب منفی نشان‌دهنده رابطه عکس و شیب مثبت نشان‌دهنده رابطه مستقیم است. اندازه شیب (قدرمطلق) هرچه قدر بزرگ‌تر باشد، حساسیت پوشش

شدند، پارامترهای توزیع لگ-لجیستیک با استفاده از روابط پیشنهادی Singh و همکاران (۱۹۹۳) تخمین زده می‌شود. رابطه (۶) تابع توزیع احتمالی سری D با توجه به توزیع لگ-لجیستیک را نشان می‌دهد.

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

در نهایت بر مبنای تابع $F(x)$ شاخص SPEI با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$\text{SPEI} = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (7)$$

در این رابطه $C_0 = 2.515517$ ، $C_1 = 0.802853$ ، $C_2 = 0.010328$ ، $d_1 = 1.432788$ ، $d_2 = 0.189269$ و $d_3 = 0.001308$ می‌باشد. همچنین در این رابطه $W = \sqrt{-2 \ln P}$ اگر $P = 1 - F(x) > 0.5$ اما اگر $P > 0.5$ باشد P یا $1 - P$ جایگزین می‌شود و علامت SPEI قرینه می‌شود. به منظور انجام مراحل بعدی پژوهش و بررسی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر خشکسالی، سری زمانی SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه دوره زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۲ در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. بعد از محاسبه شاخص SPEI، با استفاده از روش درون‌یابی فاصله معکوس وزنی (IDW^3) نقشه‌های شدت خشکسالی به دست آمد (Eskandari Damaneh et al., 2022b).

دقت حساسیت رابطه EVI و SPEI

در پژوهش حاضر، دقت حساسیت EVI نسبت به SPEI در ماه مارس و آوریل، توسط ضریب همبستگی پیرسون، در مدل‌ساز روند زمین (ETM) نرم‌افزار TerrSet طبق رابطه (۸) محاسبه شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

در این معادله r نقشه ضریب همبستگی پیرسون، x_i و \bar{x} به ترتیب SPEI در مقایسه زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و میانگین آن در طول دوره آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲) و y_i و \bar{y} به ترتیب مقدار EVI ماه هدف در هر

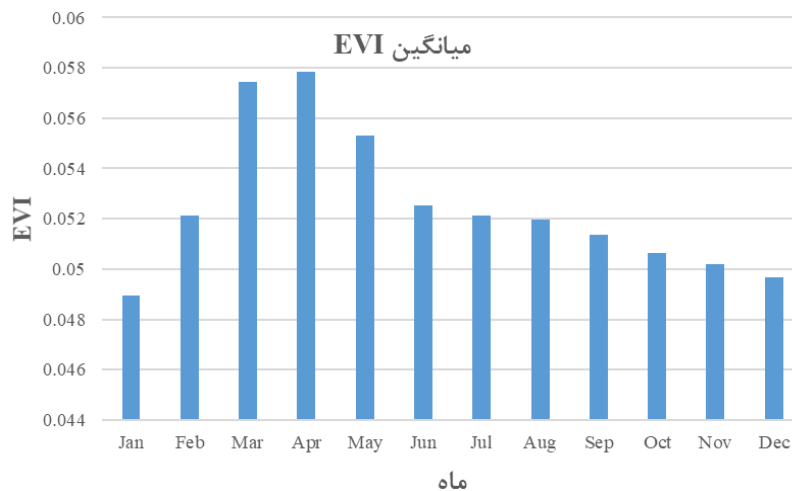
مقدار EVI را در طول سال دارند که نشان‌دهنده حداکثر رشد و شادابی پوشش گیاهی در این ماه‌ها است. از طرف دیگر ماه‌های ژانویه و دسامبر نیز کم‌ترین مقدار میانگین شاخص EVI را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نتایج این بخش ماه‌های آوریل و مارس که دارای بیش‌ترین مقدار شاخص EVI بودند، جهت بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی انتخاب شدند.

گیاهی به نوسان اقلیم بیش‌تر است (Eskandari Damaneh et al., 2021b).

نتایج

انتخاب ماه‌های هدف

شکل (۳) میانگین بلندمدت ماهانه شاخص EVI در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، به ترتیب ماه‌های آوریل و مارس بیش‌ترین

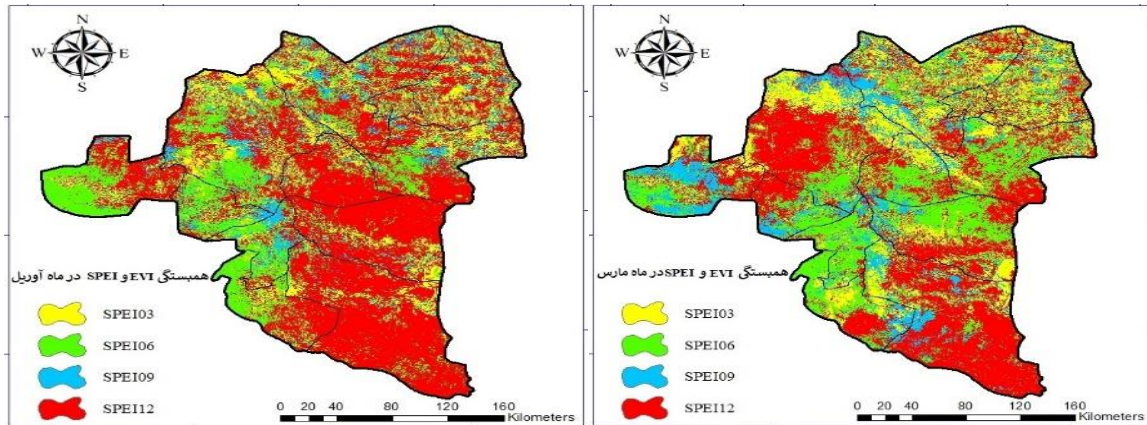


شکل ۳- میانگین بلندمدت ماهانه شاخص EVI در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲

Figure 3- Long-term monthly average of EVI index in the time series of 2001-2022

نتایج ارزیابی دقت حساسیت رابطه SPEI و EVI (۴) بیش‌ترین مقدار همبستگی شاخص EVI با شاخص SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست‌آمده در ماه مارس، بیش‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه بوده که معادل ۴۰/۴٪ مساحت محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود. این مناطق عمدتاً در مناطق جنوبی، جنوب‌شرق و تا بخش‌هایی از شرق و شمال‌غرب محدوده مطالعاتی که شامل اکثر مساحت شهرستان‌های قلعه‌گنج، رودبار جنوب، جیرفت و فاریاب می‌باشد. همچنین در این ماه، کم‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۹ ماهه بوده که در حدود ۱۵/۱۵۵٪ مساحت محدوده مطالعاتی مشاهده شده است (جدول ۲). در ماه آوریل نیز، بیش‌ترین همبستگی

نتایج ارزیابی دقت حساسیت رابطه SPEI و EVI (۴) بیش‌ترین مقدار همبستگی شاخص EVI با شاخص SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست‌آمده در ماه مارس، بیش‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه بوده که معادل ۴۰/۴٪ مساحت محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود. این مناطق عمدتاً در مناطق جنوبی، جنوب‌شرق و تا بخش‌هایی از شرق و شمال‌غرب محدوده مطالعاتی که شامل اکثر مساحت شهرستان‌های قلعه‌گنج، رودبار جنوب، جیرفت و فاریاب می‌باشد. همچنین در این ماه، کم‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۹ ماهه بوده که در حدود ۱۵/۱۵۵٪ مساحت محدوده مطالعاتی مشاهده شده است (جدول ۲). در ماه آوریل نیز، بیش‌ترین همبستگی



شکل ۴- بیش‌ترین همبستگی شاخص SPEI و EVI با مقیاس زمانی متفاوت در ماه مارس و آوریل

Figure 4- The highest correlation of EVI and SPEI index with different time scale in March and April

نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، در ماه مارس، دقت حساسیت مثبت خیلی قوی، قوی و متوسط عمدتاً مربوط به شهرستان‌های قلعه‌گنج، منوجان، کهنوج، فاریاب، ارزوئیه، بخش‌های جنوبی، جنوب‌شرق، جنوب، جنوب‌غرب، غرب و نواحی مرکزی جیرفت، رودبار جنوبی و قسمت‌های زیادی از عنبرآباد می‌باشد. عمده قسمت‌های شمالی و شمال‌شرقی محدوده مطالعاتی که شامل نرماشیر، بم، فهرج و ریگان می‌باشد، دقت حساسیت رابطه شاخص SPEI و EVI در طبقات منفی قرار دارد. همچنین در ماه آوریل بیش‌ترین دقت حساسیت رابطه شاخص SPEI و EVI به طبقات دقت حساسیت مثبت زیاد و مثبت متوسط اختصاص داشت که در قسمت‌های مرکزی، غربی، جنوب‌غرب، جنوب، جنوب‌شرق تا شرق محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شود.

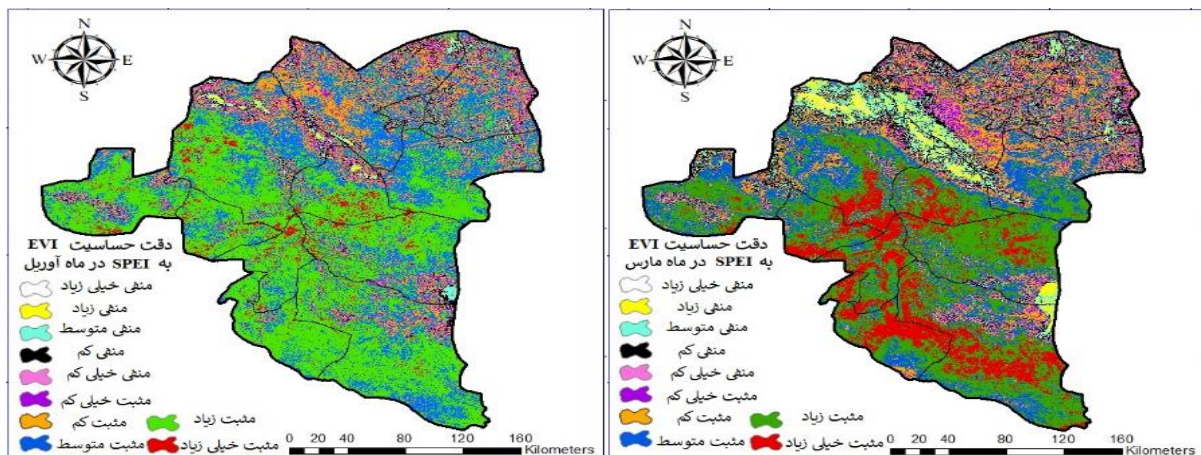
جدول ۲- درصد مساحت همبستگی EVI و SPEI با

مقیاس زمانی مختلف در ماه مارس و آوریل

Table 2- Correlation area percentage of EVI and SPEI with different time scales in March and April

مقیاس زمانی مختلف SPEI	مساحت (%)	
	ماه مارس	ماه آوریل
۳ ماهه	18.98	15.44
۶ ماهه	25.07	20.57
۹ ماهه	15.55	10.75
۱۲ ماهه	40.4	53.25

بعد از تعیین بیش‌ترین مقدار همبستگی EVI و SPEI با مقیاس‌های زمانی مختلف، نقشه‌های همبستگی ادغام و نقشه دقت حساسیت به دست آمد. شکل (۵) نقشه دقت حساسیت رابطه شاخص SPEI و EVI در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در ماه‌های مارس و آوریل



شکل ۵- دقت حساسیت رابطه بین EVI با SPEI ماه‌های مارس و آوریل

Figure 5- The accuracy of the sensitivity of the relationship between EVI and SPEI in March and April

حساسیت شاخص EVI نسبت به SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف

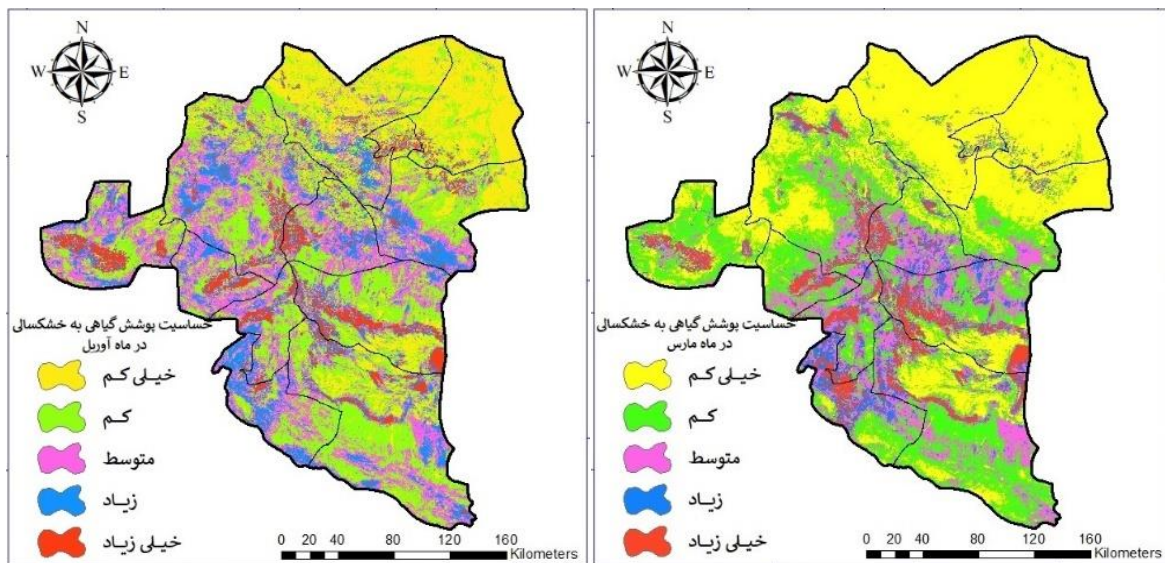
حساسیت شاخص EVI به شاخص SPEI که معرف حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی است، برای ماه مارس و ماه آوریل در شکل (۶) ارائه شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که در ماه مارس شاخص EVI در قسمت‌هایی از شمال، شمال شرق و بخش‌هایی از غرب محدوده مطالعاتی شامل اکثر مساحت شهرستان‌های فهرج، نرماشیر، بم، ریگان حساسیت خیلی کم و کم را به خشکسالی داشته در حالی که در بخش‌هایی از غرب منطقه، نواحی مرکزی به سمت جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق شامل نواحی جنوب شهرستان جیرفت، غرب شهرستان رودبار جنوب، اکثر نواحی کهنوج، بیشترین حساسیت EVI به SPEI مشاهده شده است. با توجه به درصد مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی (جدول ۴) در ماه آوریل نیز شاخص EVI در عمده قسمت‌های غربی، شمال غربی، مرکزی و شرق و جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب محدوده مطالعاتی دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت SPEI بوده است. در این ماه نیز کمترین حساسیت EVI به خشکسالی مربوط به قسمت‌های شمال شرق است.

جدول (۳) درصد مساحت کلاس‌های مختلف دقت حساسیت EVI به SPEI در ماه مارس و آوریل را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در ماه مارس، کلاس‌های مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم به ترتیب ۲۹/۰۲، ۱۹/۴۱ و ۱۵/۰۳٪ از محدوده مورد مطالعه را به خود اختصاص دادند. این مقادیر برای ماه آوریل نیز به ترتیب ۴۱/۸۹، ۲۸/۱ و ۱۴/۶۹٪ می‌باشد. همچنین کمترین درصد مساحت نیز در هر دو ماه مربوط به کلاس‌های منفی خیلی زیاد و منفی زیاد می‌باشد.

جدول ۳- درصد مساحت کلاس‌های مختلف دقت حساسیت EVI به SPEI در ماه مارس و آوریل

Table 3- Area percentage of different accuracy classes of EVI sensitivity to SPEI in March and April

درصد مساحت		طبقات دقت حساسیت
ماه آوریل	ماه مارس	
0.01	0.24	منفی خیلی زیاد
0.36	2.46	منفی زیاد
1.53	5.49	منفی متوسط
3.39	8.05	منفی کم
2.62	3.31	منفی خیلی کم
4.2	4.36	مثبت خیلی کم
14.69	15.03	مثبت کم
28.1	19.41	مثبت متوسط
41.89	29.02	مثبت زیاد
3.21	12.64	مثبت خیلی زیاد



شکل ۶- میزان حساسیت رابطه EVI با SPEI ماه‌های مارس و آوریل

Figure 6- The sensitivity of the relationship between EVI and SPEI in March and April

کشور چین، به این موضوع اشاره کرده‌اند. همچنین Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود بیان داشتند که در جنوب کرمان بیش‌ترین همبستگی تغییرات پوشش گیاهی با SPEI ۱۲ ماهه است.

نتایج دقت حساسیت EVI به SPEI نشان داد که بیش‌ترین دقت حساسیت به ترتیب به کلاس‌های مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم اختصاص دارد که عمدتاً به شهرستان‌های مرکزی، غربی، جنوب‌غربی، جنوب تا جنوب‌شرق و بخش‌هایی از شرق محدوده مطالعاتی مربوط می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش مقدار SPEI (افزایش به معنای رطوبت بیش‌تر و کاهش به معنای رطوبت کم‌تر است) باعث افزایش مقدار EVI که نمایانگر میزان پوشش گیاهی و طراوت آن است، می‌شود. از طرفی مساحت کلاس مثبت زیاد نیز نمایانگر نقش مهم اقلیم در تحولات پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه است.

همچنین نتایج حساسیت EVI به SPEI نشان داد که کم‌ترین حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی مربوط به نواحی شمال‌شرق، بخش‌هایی از جنوب‌شرق و شمال محدوده مطالعاتی می‌باشد. این نواحی عمدتاً اراضی بایر و یا مرتع با تاج پوشش فقیر را شامل می‌شود؛ بنابراین به دلیل فقدان و کمبود پوشش گیاهی حساسیت EVI به SPEI در کم‌ترین حالت قرار دارد. Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) و BehrangManesh و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش‌های خود به این موضوع اشاره می‌نمایند.

به طور کلی از نتایج ارزیابی پدیده خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی محدوده می‌توان در مدیریت پوشش گیاهی به ویژه مراتع و چرای دام نیز بهره برد. با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان گفت که شرایط محیطی مانند ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و مدیریت انسان و غیره تأثیر بسیار مهمی در تعیین ارتباط بین شاخص پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی هواشناسی دارد. از طرفی با نظارت و کنترل پدیده خشکسالی می‌توان از اثرات منفی آن تا حد قابل

جدول ۴- درصد مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت

پوشش گیاهی به خشکسالی در ماه مارس و آوریل

Table 4- Area percentage of different classes of vegetation sensitivity to drought in March and April

کلاس حساسیت	مساحت (%)	
	ماه آوریل	ماه مارس
خیلی کم	18.98	42.32
کم	34.62	29.35
متوسط	27.12	16.11
زیاد	13.27	5.74
خیلی زیاد	6.01	6.48

بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی‌ها عمدتاً به علت کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق ناشی از افزایش دما است (Greve et al., 2014; Novick et al., 2016). تحت تأثیر گرمایش جهانی، فراوانی و شدت رویدادهای خشکسالی به ویژه در عرض‌های جغرافیایی میانی افزایش یافته است (Sheffield & Wood, 2008; Lau et al., 2013). با توجه به تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر و وقوع خشکسالی‌های متعدد در استان کرمان، شرایط اقلیمی حاکم بر نواحی جنوب این استان و اهمیت حفظ پوشش گیاهی در این نواحی، در پژوهش حاضر تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی با بهره‌گیری از شاخص خشکسالی SPEI و شاخص پوشش گیاهی EVI مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز همبستگی EVI با SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف، در هر دو ماه مارس و آوریل، بیش‌ترین همبستگی EVI به ترتیب با SPEI ۱۲، ۶، ۳ و ۹ ماهه بوده است؛ بنابراین بیش‌ترین تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در جنوب استان کرمان مربوط به SPEI ۱۲ ماهه است و کم‌ترین آن مربوط به SPEI ۹ ماهه است. این نتایج به علت شرایط محیطی متفاوت در محدوده مورد مطالعه است که باعث شده در هر منطقه نتایج متفاوتی به دست بیاید. Ding و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با هدف ارزیابی مکانی-زمانی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی

سنجش از دوری، تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های اقلیمی نظیر SPEI و SPI در بازه‌های زمانی مختلف و در مناطق جغرافیایی متفاوت از لحاظ اقلیمی، توپوگرافی و غیره استفاده کرد تا ارتباط بین این دو شاخص دقیق‌تر بررسی شود.

توجهی جلوگیری کرد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی با در نظر گرفتن عوامل مذکور، پیش‌بینی این پدیده و مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر پدیده خشکسالی در اولویت قرار گیرد؛ که در جهت دستیابی به این موضوع می‌توان از تکنیک

References

- Alamdarloo, E.H., Abolhasani, A., Manesh, M.B., & Khosravi, H. (2024). Application of remote sensing techniques for evaluating land surface vegetation. *In Remote Sensing of Soil and Land Surface Processes* (pp. 199-216). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15341-9.00006-X>
- Ahmad, M.I., Sinclair, C.D., & Werritty, A. (1988). Log-logistic flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 98(3-4), 205-224. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(88\)90015-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(88)90015-7).
- Bagheri, S., Heydari Alamdarloo, E., Khosravi, H., & Abolhasani, A. (2021). The effect of meteorological drought on vegetation dynamics in Iran. *Journal of Rangeland*, 15(4), 622-637. (In Persian)
- Bazarafshan, C., Hejabi, S. (2016). *Drought and its monitoring methods (along with applications in MATLAB programming environment)*. Tehran University Press, 224 pages. (In Persian)
- Behrang Manesh, M., Khosravi, H., Heydari Alamdarloo, E., Saadi Alekasir, M., Gholami, A., & Singh, V.P. (2019). Linkage of agricultural drought with meteorological drought in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1025-1033. <http://doi.org/10.1007/s00704-019-02878-w>.
- Boori, M.S., Choudhary, K., & Kupriyanov, A. (2022). Detecting vegetation drought dynamics in European Russia. *Geocarto International*, 37(9), 2490-2505. <http://doi.org/10.1080/10106049.2020.1750063>.
- Chatfield, C. (2016). *The analysis of time series: an introduction*. CRC press. pp 352. <https://doi.org/10.4324/9780203491683>
- Ding, Y., Xu, J., Wang, X., Peng, X., & Cai, H. (2020). Spatial and temporal effects of drought on Chinese vegetation under different coverage levels. *Science of The Total Environment*, 716, 137166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137166>.
- Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H., Gilevari, A., & Adeli Sardooei, M. (2021a). A survey on the effect of drought on environmental indices derived from the MODIS data over the 2001-2019 period (Case study: Rangelands of Isfahan province). *Rangeland*, 15(3), 460-476. (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Sayadi, Z., & Khoorani, A. (2021b). Evaluation of spatiotemporal changes and correclations of aerosol optical depth, NDVI and climatic data over Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(4), 772-786. <http://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125252> (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Mahdavi, R., Khoorani, A., & Li, J. (2022a). Evaluation of land degradation trend using satellite imagery and climatic data (Case study: Fars province). *Desert Ecosystem Engineering*, 8(24), 49-64. <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.24.35>. (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivan, H., & Barati, A. (2022b). Investigating the influence of drought on trend of vegetation changes in arid and semiarid regions, using remote sensing technique: A case study of Hormozgan Province). *Desert Ecosystem Engineering*, 9(28), 13-28. <http://doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.11> (In Persian)
- Evans, J.D. (1996). *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co.
- Greve, P., Orlowsky, B., Mueller, B., Sheffield, J., Reichstein, M., & Seneviratne, S.I. (2014). Global assessment of trends in wetting and drying over land. *Nature*

- geoscience*, 7(10), 716-721.
<http://doi.org/10.1038/ngeo2247>
- Heydari Alamdarloo, E., Moradi, E., Abdolshahnejad, M., Fatahi, Y., Khosravi, H., & da Silva, A.M. (2021). Analyzing WSTP trend: a new method for global warming assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15.
<https://doi.org/10.1007/s10661-021-09600-2>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Javed, T., Li, Y., Feng, K., Ayantobo, O.O., Ahmad, S., Chen, X., & Suon, S. (2021). Monitoring responses of vegetation phenology and productivity to extreme climatic conditions using remote sensing across different sub-regions of China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 3644-3659.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10769-1>
- Khosravi, H., Eskandari Dermaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Borji, M., & Nakhaee Nejadfard, S. (2018). Drought trend assessment in riverheads of karkheh and dez basins based on streamflow drought index (SDI). *Desert Ecosystem Engineering*, 7(2), 45-54.
<https://doi.org/10.22052/jdee.2018.101087.1019> (In Persian)
- Kong, D., Zhang, Q., Singh, V.P., & Shi, P. (2017). Seasonal vegetation response to climate change in the Northern Hemisphere (1982–2013). *Global and Planetary Change*, 148, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.020>
- Lau, W.K.M., Wu, H.T., & Kim, K.M. (2013). A canonical response of precipitation characteristics to global warming from CMIP5 models. *Geophysical Research Letters*, 40(12), 3163-3169.
<http://doi.org/10.1002/grl.50420>
- Lee, S., Moriasi, D.N., Mehr, A.D., & Mirchi, A. (2024). Sensitivity of standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI) to the choice of SPEI probability distribution and evapotranspiration method. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101761.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101761>
- Ma, J., Zhang, C., Li, S., Yang, C., Chen, C., & Yun, W. (2023). Changes in vegetation resistance and resilience under different drought disturbances based on NDVI and SPEI time series data in Jilin Province, China. *Remote Sensing*, 15(13), 3280.
<https://doi.org/10.3390/rs15133280>
- Mazidi, A., Mohammadi Ravari, F., & Behzadi Shahrehabak, Z. (2023). Assessment of the drought situation in Kerman using drought indicators and its relationship with the state of vegetation change in the region. *Nivar (Journal of Meteorological Organization)*, 47(120-121), 166-180.
<https://doi.org/10.30467/nivar.2023.3949001244> (In Persian)
- Moradi, E., Darabi, H., Alamdarloo, E.H., Karimi, M., & Kløve, B. (2023). Vegetation vulnerability to hydrometeorological stresses in water-scarce areas using machine learning and remote sensing techniques. *Ecological Informatics*, 73, 101838.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101838>
- Nasabpour, S., Khosravi, H., & Heydari Alamdarloo, E. (2017). National assessment of climate resources for tourism seasonality in Iran using the tourism climate index. *Desert*, 22(2), 175-186.
- Nejadrekabi, M., Eslamian, S., & Zareian, M. J. (2022). Spatial statistics techniques for SPEI and NDVI drought indices: A case study of Khuzestan Province. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(7), 6573-6594.
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03852-8>
- Novick, K. A., Miniati, C. F., & Vose, J. M. (2016). Drought limitations to leaf-level gas exchange: results from a model linking stomatal optimization and cohesion–tension theory. *Plant, cell & environment*, 39(3), 583-596.
<https://doi.org/10.1111/pce.12657>
- Savari, M., Damaneh, H.E., & Damaneh, H.E. (2024). Managing the effects of drought through the use of risk reduction strategy in the agricultural sector of Iran. *Climate Risk Management*, 45, 100619.
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100619>

- Sheffield, J., & Wood, E.F. (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate dynamics*, 31, 79-105. <http://doi.org/10.1007/s00382-007-0340-z>
- Singh, V.P., Guo, H., & Yu, F.X. (1993). Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 7, 163-177. <https://doi.org/10.1007/BF01585596>
- Stagge, J.H., Tallaksen, L.M., Xu, C.Y., & Van Lanen, H. A. (2014). Standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters. In *Hydrology in a changing world*, 363, 367-373.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94. <https://doi.org/10.2307/210739>.
- Vicente-Serrano, S.M., Cabello, D., Tomás-Burguera, M., Martín-Hernández, N., Beguería, S., Azorin-Molina, C., & El Kenawy, A. (2015). Drought variability and land degradation in semiarid regions: Assessment using remote sensing data and drought indices (1982–2011). *Remote Sensing*, 7(4), 4391-4423. <https://doi.org/10.3390/rs70404391>.
- Wang, Q., Wu, J., Lei, T., He, B., Wu, Z., Liu, M., & Liu, D. (2014). Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale. *Quaternary International*, 349, 10-21. <http://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.021>.
- Won, J., & Kim, S. (2023). Ecological drought condition index to monitor vegetation response to meteorological drought in Korean Peninsula. *Remote Sensing*, 15(2), 337. <https://doi.org/10.3390/rs15020337>.
- Zhao, H., Huang, Y., Wang, X., Li, X., & Lei, T. (2023). The performance of SPEI integrated remote sensing data for monitoring agricultural drought in the North China Plain. *Field Crops Research*, 302, 109041. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109041>

Streamflow forecasting under the impacts of climate change based on the combined output of CMIP6 models (Case study: Dez Dam)

Fahimeh Khadempour¹, Mahdi Amirabadizadeh^{2*}, Yashar Falamarzi³

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

2. Department of Water Engineering and Sciences, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran and member of Drought and Climate Change Research Group

3. Department of Climate Modeling and Forecasting Research Group, Climatology Research Institute, Mashhad, Iran

* Corresponding author: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir

(Received: 11 February 2024

Revised: 30 March 2024

Accepted: 10 Jun 2024)

Extended Abstract

Introduction: Surface runoff is one of the main reasons for erosion, sedimentation and reduction of river water quality. Therefore, it is important to predict the watershed response to precipitation events. Selecting an appropriate rainfall and runoff model for the basin is crucial for effectively planning and managing water resources. Moreover, the increase in greenhouse gases can lead to numerous adverse effects on all systems interacting with the climate. In this research, the effect of changes in precipitation and temperature investigated using BCSO downscaling method based on a combination of the output of AOGCM models of the 6th IPCC report under two emission scenarios of SSP245 and SSP585. This study projected future climate change scenarios and investigated the simulation of runoff entering the reservoir based on these scenarios to forecast river flow to the Dez Dam reservoir located in Khuzestan province, Iran.

Materials and methods: To examine the effects of climate change on streamflow in Dez dam station, the output of six AOGCM models from the 6th IPCC assessment report was utilized. The output of these models includes temperature and precipitation data for the base period of 1991-2020 and the future period of 2030-2059 and under SSP245 and SSP585 scenarios were extracted. Also, the simulation of the runoff entering the reservoir is based on two future climate scenarios in order to produce the river flow to the Dez dam reservoir.

Results and Discussion: The results of current research showed that the combined global climate model performs better than the other 6 individual models and also has a better fit with the observational data. Also, rainfall reduction in most months in SS245 scenario is more than SSP585. Temperature increases are more pronounced in the warmer months of the year than in the colder months. Furthermore, the results indicate that the IHACRES model effectively simulates flow during wet periods, or high flow rates, whereas its performance is less consistent during periods of low flow. The results indicate that the highest amount of increase in runoff in both scenarios compared to the observation period is in February at the rate of 248.20 m³/s in the SSP585 scenario and the lowest amount in January at the amount of 194.26m³/s in the SSP245 scenario.

Conclusions: In this research, the latest emission scenarios compiled in the 6th report of the IPCC were used and are more compatible with the climatic conditions of the planet. The results showed that the combined model performs better than the other 6 individual models; Therefore, the combined model was used to forecast the climate parameters of the study area under two emission scenarios of SSP245 and SSP585 in the future period (2030-2059). The results showed that the highest amount of rainfall occurs in the winter months. The temperature has increased in most months in both scenarios compared to the observation period. Therefore, upon reviewing the results, it is evident that there is good agreement between the measured and predicted values in the downscaling process. The BCSO model demonstrates strong performance in simulating precipitation and temperature at the Dez Dam station, making it suitable for estimation purposes. Also, based on the results, the IHACRES model has a good ability to simulate the flow in wet periods or, in other words, high discharges, while in low discharges, this adaptation is less. Investigating the impact of climate change on underground water resources and dam useful life is essential for water resources management. The results of this research can be useful in analyzing droughts, controlling destructive floods, allocating surface and underground water resources, increasing water regulation for drinking and agriculture, drought analysis, and comprehensive management of water resources at the basin level.

Key words: BCSO, CMIP6, Downscale, Emission Scenarios, SSP

Citation: Khadempour, F., Amirabadizadeh, M., & Falamarzi, Y. (2025). Streamflow forecasting under the impacts of climate change based on the combined output of CMIP6 models (Case study: Dez Dam). *Integrated Watershed Management*, 4(4), 32-50. doi: 10.22034/iwm.2024.2022522.1133

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 جریان تحت تأثیر تغییر اقلیم بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: سد دز)

فهیمه خادم‌پور^۱، مهدی امیرآبادی‌زاده^{۲*}، یاشار فلامرزی^۳

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

۲- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران و عضو گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم

۳- گروه پژوهشی مدل‌سازی و پیش‌آگاهی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۳/۰۱/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱)

چکیده مبسوط

مقدمه: رواناب سطحی، یکی از دلایل عمده در فرسایش، رسوب‌گذاری و کاهش کیفیت آب رودخانه است؛ بنابراین، پیش‌بینی پاسخ حوضه به رویدادهای بارش مهم است. انتخاب یک مدل بارش رواناب مناسب برای حوضه از جهت بهره‌وری برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مهم است. از طرفی افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند تأثیرات منفی زیادی بر کلیه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم اقلیم می‌باشند، بگذارد. در این پژوهش، اثر تغییرات شاخص‌های بارش و دما با استفاده از روش ریزمقیاس‌سازی BCS (روش جداسازی فضایی تصحیح اریبی) بر اساس ترکیبی از خروجی مدل‌های AOGCM گزارش ششم IPCC تحت دو سناریوی انتشار SSP245 و SSP585 به مقیاس محلی مدنظر و تولید سناریوهای تغییر اقلیم آبی و هم‌چنین، شبیه‌سازی رواناب ورودی به مخزن بر اساس سناریوهای اقلیمی به‌منظور تولید آورد رودخانه به مخزن سد دز واقع در استان خوزستان بررسی شد.

مواد و روش‌ها: برای بررسی اثرات تغییر اقلیم روی جریان در ایستگاه مطالعاتی سد دز، از خروجی ۶ مدل AOGCM مربوط به ششمین گزارش ارزیابی IPCC از پایگاه داده‌ای CMIP6 دریافت شده و با استفاده از ArcGIS10.8.2 اطلاعات منطقه موردنظر استخراج شد. سپس با انجام فرآیند معیارهای ارزیابی مدل‌ها نسبت به یکدیگر، مدلی که دارای عملکرد مناسب‌تری بود انتخاب و در نهایت سناریوهای آینده برای این مدل در نظر گرفته شد. خروجی این مدل‌ها شامل دما و بارش برای دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۲۰ و دوره آبی ۲۰۳۰-۲۰۵۹ و تحت دو سناریوی SSP245 و SSP585 استخراج شدند. هم‌چنین، شبیه‌سازی رواناب ورودی به مخزن بر اساس سناریوهای اقلیمی آبی به‌منظور تولید آورد رودخانه به مخزن سد دز در استان خوزستان است.

بحث و نتایج: نتایج نشان داد که مدل ترکیبی نسبت به ۶ مدل منفرد دیگر عملکرد بهتری دارد و تناسب بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد. هم‌چنین، کاهش بارندگی در اغلب ماه‌ها در سناریوی SSP245 بیشتر از SSP585 است. افزایش دما در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال اتفاق می‌افتد. هم‌چنین، بر اساس نتایج، مدل IHACRES توانایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان در دوره‌های مرطوب یا به عبارتی دبی‌های بالا داشته است، این در حالی است که در مورد دبی‌های کم جریان این تطابق کمتر است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان افزایش رواناب در هر دو سناریو نسبت به دوره مشاهداتی در ماه فوریه (۱۲ بهمن تا ۱۰ اسفند) به میزان ۲۴۸/۲۰ مترمکعب بر ثانیه در سناریوی SSP585 و کمترین میزان آن در ماه ژانویه (۱۱ دی تا ۱۱ بهمن) به میزان ۱۹۴/۲۶ مترمکعب بر ثانیه در سناریوی SSP245 است.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش از جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ششم IPCC تدوین شده و تطابق‌پذیری مناسب‌تری با شرایط اقلیمی کره‌زمین دارد استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی نسبت به ۶ مدل منفرد دیگر عملکرد بهتری دارد؛ بنابراین مدل ترکیبی جهت چشم‌انداز پارامترهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه تحت دو سناریوی انتشار SSP245 و SSP585 در دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹) استفاده شد. هم‌چنین، نتایج نشان داد که بیشترین میزان بارندگی در ماه‌های زمستان رخ می‌دهد. دما در اکثر ماه‌ها در هر دو سناریو نسبت به دوره مشاهده افزایش یافته است. بنابراین با بررسی نتایج مشخص شد که بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده همخوانی خوبی وجود دارد و مدل BCS عملکرد خوبی برای شبیه‌سازی بارش و دما در ایستگاه سد دز دارد و می‌توان از آن برای تخمین استفاده کرد. هم‌چنین بر اساس نتایج، مدل IHACRES توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان در دوره‌های مرطوب یا به عبارتی دبی‌های بالا دارد، درحالی‌که در دبی‌های پایین، این سازگاری کمتر است. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و عمر مفید سد برای مدیریت منابع آب ضروری است. نتایج این تحقیق می‌تواند در تحلیل خشکسالی‌ها، کنترل سیلاب‌های مخرب، تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی، افزایش تنظیم آب برای شرب و کشاورزی، تحلیل خشکسالی و مدیریت جامع منابع آب در سطح حوضه مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس‌نمایی، سناریوهای انتشار، BCS، CMIP6، SSP

استناد: خادم‌پور، ف.، امیرآبادی‌زاده، م. و فلامرزی، ی. (۱۴۰۳). پیش‌بینی جریان تحت تأثیر تغییر اقلیم بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: سد دز). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۳۲-۵۰.

حق چاپ:



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

مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای که به‌عنوان علت اصلی تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود، به‌طور مستقیم بر میزان و توزیع زمانی متغیرهای اقلیمی از جمله بارندگی و دما تأثیر دارد (Ma *et al.*, 2013). تغییرات اقلیمی، میزان دفعات، شدت سیل و خشک‌سالی، زمان و بزرگی بارندگی و اوج ذوب برف را تغییر می‌دهد (Blackshear *et al.*, 2011). طبق گزارش هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی^۱ (IPCC)، با توجه به تغییر آب و هوا در سراسر جهان در طول قرن گذشته، میانگین دمای جهانی مشاهده‌شده دو دوره زمانی ۱۹۰۰-۱۸۵۰ و ۲۰۰۵-۱۹۸۶ حدود ۰/۶۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC, 2014). IPCC در ارزیابی گزارش چهارم خود پیش‌بینی کرد که میانگین دمای جهانی برای پایان قرن ۲۱ (۲۰۹۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره ۱۹۹۹-۱۹۸۰ با ۰/۳-۰/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (IPCC, 2007). هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم هم‌چنین اظهار داشت که تا اواسط قرن ۲۱، متوسط رواناب سالانه و میزان دسترسی آب در برخی مناطق گرمسیری مرطوب و در عرض‌های جغرافیایی بالا بین ۱۰ تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد، درحالی‌که در بعضی از مناطق خشک در عرض متوسط جغرافیایی و در مناطق گرمسیری ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد (IPCC, 2007). این پیش‌بینی‌ها حاکی از اهمیت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم است. برای ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی، متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای انتشار مختلف شبیه‌سازی می‌شوند. هر یک از این سناریوها شامل طیف گسترده‌ای از تغییرات در رشد آینده جمعیت، هم‌چنین در عوامل اقتصادی، سیاسی و فناوری است که ممکن است در انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در هوا تأثیر بگذارد. مدل‌های گردش عمومی^۲ (GCMs) برآوردهای معتبر از تغییرات اقلیمی آینده را ارائه می‌دهند (Randall *et al.*, 2007). این

مدل‌ها به‌عنوان مفیدترین ابزار برای شبیه‌سازی آب‌وهوای حال و آینده در سناریوهای مختلف اقلیمی معرفی می‌شوند (Wilby *et al.*, 2002; Chu *et al.*, 2010). محدودیت اصلی این مدل‌ها، بزرگ‌مقیاس بودن آن‌ها است. به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو، هیچ‌گاه نمی‌توان به‌طور مستقیم از آن در شبیه‌سازی و پیش‌بینی‌های بلندمدت اقلیمی بدون ریزمقیاس‌نمایی استفاده نمود و برای مطالعات در سطح منطقه‌ای و محلی مناسب نمی‌باشند؛ بنابراین، خروجی این مدل‌ها به‌منظور استفاده در مقیاس منطقه‌ای بایستی ریزمقیاس شوند (Harpham & Wilby, 2005; Fu & Charles, 2011; Liu *et al.*, 2013). IPCC از سال ۲۰۱۶ تدوین گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم^۳ (CMIP6) را با همکاری مراکز تحقیقاتی مختلف در سطح جهان آغاز کرده است. نتیجه این همکاری منجر به فراهم‌سازی زمینه تولید مدل‌های جدید برای پیش‌بینی اقلیم آتی جهان و تکمیل آن‌ها تا سال ۲۰۲۲ خواهد بود (Tebaldi *et al.*, 2021). باوجوداین، در حال حاضر نیز خروجی برخی از مدل‌های گفته‌شده به‌تدریج از طریق پایگاه اطلاعاتی IPCC در اختیار عموم قرار گرفته است. استفاده از یک مدل منفرد AOGCM^۴ برای برآورد تغییرات دما و بارش در نقاط مختلف جهان، یک روش معمول در بسیاری از تحقیقات قبلی در این زمینه به‌شمار می‌رود. ولی نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که استفاده از یک مدل واحد در این زمینه، ممکن است باعث ایجاد خطا و عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های مرتبط با تغییر اقلیم شود (Zareian., 2015). در این راستا استفاده از روش‌های ترکیبی برای افزایش دقت برآورد دما و بارش آتی نواحی مختلف جهان با استفاده از مدل‌های AOGCM مورد تأکید بسیاری قرار گرفته است. یکی از مرسوم‌ترین این روش‌ها، وزن‌دهی این مدل‌ها بر

³ Coupled Model Intercomparison Project-Phase 6

⁴ Atmosphere Ocean General Circulation Models

¹ The Intergovernmental Panel on Climate Change

² General Circulation Models

سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۲۰ را بررسی کردند. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که کاهش رواناب طبیعی، عمدتاً ناشی از کاهش بارش است. Khadempour و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق مرجع روزانه در مدل‌های با ساختار ریاضی متفاوت در اقلیم‌های مختلف ایران پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش دما و کاهش بارندگی و همچنین افزایش تبخیر تعرق روزانه در اقلیم‌های مختلف بود. Khadempour و Amirabadizadeh (۲۰۱۹) به بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از روش ریز مقیاس‌گردانی آماری برای متغیر دما در ایستگاه یاسوج پرداختند. در این مطالعه مشخص شد که مدل ریز مقیاس‌نمائی SDSM توانایی زیادی در مدل‌سازی داده‌ی میانگین دما در منطقه مورد مطالعه را داشته است. Roshani و Hamidi (۲۰۲۱) پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل‌های CMIP6 در ایستگاه ساری پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش بارش بود. Niroumand Fard و همکاران (۲۰۲۲) بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 در ایستگاه بیرجند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تغییرات دمای حداکثر و حداقل در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای روند افزایشی است و پارامتر بارش دارای روند سینوسی است و در برخی ماه‌ها افزایشی و در برخی کاهش‌ی است، اما به‌طور کلی می‌توان گفت میانگین مجموع بارش‌های ماهانه در آینده تحت هر سه سناریوی برای مدل MIROC-ES2L روند افزایشی دارد. با توجه به در دسترس قرار گرفتن نتایج مدل‌های گزارش ششم IPCC و تحول صورت گرفته در زمینه توسعه این مدل‌ها نسبت به گزارش‌های قبلی IPCC، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر تغییرات شاخص‌های بارش و دما با استفاده از روش

اساس توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی دما و بارش دوره تاریخی و استفاده از آن‌ها برای پیش‌بینی دما و بارش دوره آتی است (Gohari *et al.*, 2015). تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش و رواناب در نواحی مختلف ایران و جهان صورت گرفته است. Lopez-Ballesteros و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی آینده به دلیل تغییرات آب و هوایی در حوضه رودخانه آراکتوس^۵ در شمال غربی یونان پرداختند. نتایج نشان داد که در مقایسه با دوره تاریخی انتظار می‌رود میزان بارش و جریان کاهش یافته و حداکثر و حداقل دما افزایش یابد. Yazdandoost و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی شبیه‌سازی‌های بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6، عدم قطعیت و مقایسه بین مدل‌ها در مناطق آب و هوایی مختلف ایران پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌ها CMIP6 به بهترین نحو ویژگی‌های آب و هوایی بارش و تغییرات مکانی - زمانی آن را در مناطق خشک و فراخشک کشور بازتولید می‌کنند. مدل‌هایی که در منطقه مرطوب به خوبی عمل کردند در مناطق فراخشک و خشک به خوبی عمل نکردند. به‌طور مشابه، مدل‌هایی که در مناطق خشک و فراخشک عملکرد خوبی داشتند در مناطق مرطوب عملکرد خوبی نداشتند. Zhao و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی جریان بازسازی‌شده رودخانه جینگ^۶ در غرب چین و چشم‌انداز ۳۹۹ ساله برای تغییرات هیدرولوژیکی در فلات لس^۷ پرداختند. سناریوهای مختلف آب و هوایی، کاهش مستمر جریان رودخانه جینگ در آینده و بدتر شدن وضعیت منابع آب را نشان داد. این بازسازی جریان جدید می‌تواند به‌عنوان یک مرجع ارزشمند برای تجزیه و تحلیل هیدرولوژی منطقه‌ای و اطلاع-رسانی مدیریت منابع آب و تدوین سیاست‌ها باشد. Han و همکاران (۲۰۲۳) تأثیرات تغییر آب‌وهوا بر رواناب طبیعی در حوضه رودخانه زرد^۸ چین طی

^۸ Yellow River Basin

^۵ Arachthos

^۶ Jing River

^۷ Loess Plateau

مطالعاتی را نشان می‌دهد. داده‌های اقلیمی مورد استفاده در مقیاس ماهانه شامل بارش، حداقل و حداکثر دما و دبی در ایستگاه مطالعاتی در دوره پایه ۲۰۲۰-۱۹۹۱ است. داده‌های اقلیمی از سازمان آب و برق استان خوزستان اخذ شد.

ریزمقیاس‌سازی^۹ BCSD (روش جداسازی فضایی تصحیح‌اریبی) بر اساس ترکیبی از خروجی مدل‌های AOGCM مربوط به گزارش ششم IPCC تحت دو سناریوی انتشار SSP245 و SSP585 به مقیاس محلی مدنظر و تولید سناریوهای تغییر اقلیم آبی و همچنین، شبیه‌سازی رواناب ورودی به مخزن بر اساس سناریوهای اقلیمی آبی به منظور تولید آورد رودخانه به مخزن سد دز واقع در استان خوزستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد دز یک سد بتنی برقابی است که بر روی رودخانه دز در ۲۳ کیلومتری شمال اندیمشک احداث شد. این منطقه در محدوده عرض جغرافیایی $32^{\circ}36'$ تا $32^{\circ}45'$ شمالی و طول جغرافیایی $48^{\circ}22'$ تا $48^{\circ}39'$ شرقی قرار دارد. این سد ۱۲۵ هزار هکتار از اراضی پایین‌دست را آبیاری می‌کند و نقش مهمی در کنترل سیلاب‌های بالادست دارد. شهرستان‌های دزفول، شوش، شوشتر و اهواز در پایین‌دست آن قرار دارند و از افزایش خروجی این سد تأثیر می‌پذیرند. هدف اصلی از احداث سدهایی نظیر سد دز تأمین نیروی لازم جهت تولید برق، کنترل سیلاب‌ها و تنظیم آب جهت مصارف آبیاری است. شکل (۱)، موقعیت منطقه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

Figure 1- Geographical location of the study area

جدول ۱- فهرست ۶ مدل CMIP6 مورد استفاده در پژوهش حاضر

Table 1- List of 6 CMIP6 models used in this research

دقت مکانی (درجه)	نام مرکز تحقیقاتی	کشور توسعه‌دهنده	مدل	ردیف
1.25×1.87	Australian community climate and earth system simulator	استرالیا	ACCESS-CM2	1
2.81×2.81	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis	کانادا	CanESM5	2
1×1.25	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	آمریکا	GFDL-ESM4	3
1.125×2.5	Institute Pierre Simon Laplace	فرانسه	IPSL-CM6A-LR	4
1.4×1.4	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	ژاپن	MIROC6	5
1.125×1.125	Meteorological Research Institute	ژاپن	MRI-ESM2-0	6

⁹ Bias Corrected Spatial Disaggregation

مورد استفاده در این پژوهش که داده‌های بارش و دمای آن‌ها در دسترس بوده در جدول (۱) ارائه شده است. در این پژوهش از دو سناریوی حد متوسط (SSP245) و بدبینانه (SSP585) استفاده شد که در جدول (۲) ویژگی‌های آن‌ها به اختصار بیان شده است. برای افزایش دقت استفاده از مدل‌های AOGCM در برآورد دما و بارش در ایستگاه مطالعاتی، این مدل‌ها در هر ماه بر اساس شاخص‌های ارزیابی وزن‌دهی شدند. در پژوهش حاضر، جهت صحت‌سنجی پارامترهای بارش و دمای مدل‌های انتخاب‌شده CMIP6 از متوسط قدر مطلق خطا^{۱۰} (MAE)، ریشه متوسط خطای مربعات^{۱۱} (RMSE) و معیار اریب خطا^{۱۲} (MBE) استفاده شد. روابط در جدول (۳) ارائه شده است.

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ایستگاه مطالعاتی سد دز، از خروجی ۶ مدل AOGCM مربوط به ششمین گزارش ارزیابی IPCC از پایگاه داده‌ای CMIP6 دریافت شده و با استفاده از ArcGIS 10.8.2 اطلاعات منطقه موردنظر استخراج شد. سپس با انجام فرآیند معیارهای ارزیابی مدل‌ها نسبت به یکدیگر، مدلی که دارای عملکرد مناسب‌تری بود انتخاب شد و در نهایت سناریوهای آینده برای این مدل در نظر گرفته شد که در ادامه ارائه شده است. دوره تاریخی این مدل‌ها از سال ۱۹۹۱-۲۰۲۰ و به مدت ۳۰ سال تهیه شد به این دلیل دوره تاریخی مدل‌های CMIP6 در این بازه است چون برای ایستگاه موردنظر این پژوهش (ایستگاه سد دز) نیز این دوره آماری در دسترس بود. مدل‌های

جدول ۲- خصوصیات سناریوهای انتشار (O'Neil et al., 2016)

Table 2- Characteristics of emission scenarios (O'Neil et al., 2017)

سناریوهای انتشار		
SSP585	SSP245	SSP
		فناوری توسعه شدت کربن
سریع بالا	متوسط، سریع ناهموار متوسط	تغییر فناوری انرژی
هدایت به سمت سوخت‌های فسیلی؛ منابع جایگزین به طور فعال دنبال نشده‌اند	مقداری سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر اما اتکای مداوم به سوخت‌های فسیلی	اقتصاد و سبک زندگی رشد (سرانه)
بالا	متوسط، ناهموار	جهانی‌شدن
به شدت جهانی شده، به طور فزاینده‌ای مرتبط است	اقتصاد نیمه‌باز جهانی شده	مصرف و رژیم غذایی سیاست‌ها و نهادها
مادی‌گرایی، مصرف وضعیت، گردشگری، تحرک، رژیم‌های غذایی غنی از گوشت	مصرف مواد فشرده، مصرف متوسط گوشت	همکاری بین‌المللی
مؤثر در تعقیب اهداف توسعه، محدودتر شدن اهداف	نسبتاً ضعیف	سیاست زیست‌محیطی
تمرکز بر محیط محلی با مزایای آشکار برای رفاه، نگرانی کمی با مشکلات جهانی	نگرانی برای آلاینده‌های محلی اما موفقیت متوسط در اجرا	جهانگیری سیاست
به سوی توسعه، بازارهای آزاد، سرمایه انسانی	تمرکز ضعیف بر پایداری	

¹² Mean Bias Error¹⁰ Mean Absolute Error¹¹ Root Mean Square Error

جدول ۳- معیارهای ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی بارش و دما CMIP6

Table 3- Evaluation criteria of observed and simulated precipitation and temperature data CMIP6

روابط ریاضی	محدوده	واحد	روش
$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - Y_i }{N}$	$[0 \sim +\infty)$	پارامتر	متوسط قدر مطلق خطا (MAE)
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{N}}$	$[0 \sim +\infty)$	پارامتر	ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE)
$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{N}$	$(-\infty \sim +\infty)$	پارامتر	معیار اریبی خطا (MBE)

که در روابط بالا، N تعداد کل داده‌ها، X_i داده‌های شبیه‌سازی شده، Y_i داده‌های مشاهداتی و i گام‌های زمانی است.

روش ریزمقیاس‌نمایی

بسیاری از مدل‌های گردش عمومی برآورد کمتر یا بیشتر از مقدار مشاهداتی مؤلفه‌های اقلیمی (بارش، حداکثر و حداقل دما) دارند. به‌منظور تصحیح خطای داده‌های شبیه‌سازی‌شده ماهانه بارش و دما در دوره تاریخی و سپس دوره آینده در ایستگاه مطالعاتی و برای دیده‌بانی شده شبکه‌ای در مقیاس مکانی و دوره زمانی مشابه مقایسه می‌شوند. سپس شبیه‌سازی‌های GCM در دوره آینده بر اساس نتایج مقایسه انجام‌شده تنظیم و تصحیح می‌شوند. نهایتاً، به روش تولید داده سری زمانی داده‌های روزانه اقلیم آتی به روش تصادفی تولید می‌شوند. در این روش، پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی -کننده یکی هستند، منتهی مقیاس مکانی و زمانی آن‌ها مختلف است (Brekke *et al.*, 2013). پس از انجام تصحیحات مرحله اول بر روی برون‌داد شبکه‌ای مدل گردش عمومی، مرحله دوم روش BCSD می‌تواند با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و RStudio انجام گیرد.

تمامی مدل‌ها، از روش دینامیکی جداسازی فضایی تصحیح اریبی (BCSD) استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده خواهد شد. این روش دارای دو مرحله تصحیح اریبی و تولید داده است. در مرحله تصحیح اریبی، مقادیر میانگین‌گیری شده ماهانه مدل گردش عمومی (GCM) در دوره پایه با سری زمانی داده‌های

شبیه‌سازی بارش - رواناب

مدل بارش - رواناب IHACRES

این مدل یک مدل یکپارچه مفهومی - متریک برای شبیه‌سازی بارش - رواناب است که توسط جیکمن^{۱۳} در سال ۱۹۹۰ توسعه یافت. این مدل به پنج تا هفت متغیر برای واسنجی نیاز دارد و برای اجرا در حوضه‌های بزرگ مناسب است (Croke & Jakeman., 2008). این مدل مطابق شکل (۲) شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش مؤثر به رواناب تعریف شده است (Croke & Jakeman., 2008., McIntyre & Al-Qurashi., 2009).

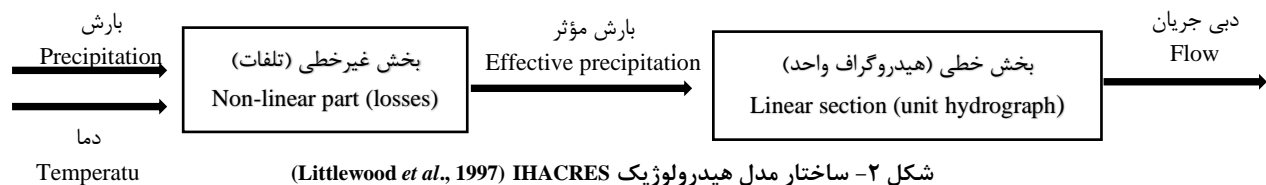


Figure 2- Structure of IHACRES hydrological model (Littlewood *et al.*, 1997)

که در آن، α_q و β_q به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع α_s و β_s به ترتیب، ثابت زمانی جریان آهسته می‌باشند که با استفاده از روابط (۷) و (۸) به دست می‌آیند.

$$\tau_q = \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_q)} \quad (7)$$

$$\tau_s = \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_s)} \quad (8)$$

که در آن، Δ بازه زمانی، τ_q و τ_s ثابت زمانی فروکش برای جریان سریع و آهسته در مخازن متوالی (برحسب روز) می‌باشند. نسبت حجمی جریان سریع و آهسته به صورت رابطه (۹) در نظر گرفته می‌شوند.

$$V_q = 1 - V_s = \frac{\beta_q}{1 + \alpha_q} = 1 - \frac{\beta_s}{1 + \alpha_s} \quad (9)$$

واسنجی مدل

هدف از واسنجی مدل، حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده است (Ye et al., 1998). در واسنجی مدل IHACRES مقادیر ثابت زمانی خشکی آبخیز τ_w و فاکتور تعدیل دما f در بخش غیرخطی مدل به صورت دستی توسط کاربر انتخاب می‌شوند و مقادیر پارامترها در بخش روندیابی خطی مدل و پارامتر $1/C$ (ثابت میزان ذخیره آبخیز) توسط خود نرم‌افزار محاسبه می‌شود. در این مرحله، بهترین مدل بر اساس مقادیر معیارهای ارزیابی ضریب تبیین ساده و تبدیل‌شده (جذر، لگاریتم و معکوس) انتخاب می‌گردد.

ارزیابی و اعتبارسنجی مدل

در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان در مدل از معیارهای آماری مختلفی استفاده می‌شود که در روابط (۱۰) تا (۱۶) ارائه شده است. در رابطه (۱۰)، معیار ضریب تبیین (R^2) بر اساس رابطه میان مجذور مربعات خطا و واریانس مقادیر مشاهداتی بیان می‌گردد. سایر معیارها بر اساس معیار ضریب تبیین بنا نهاده شده‌اند، با این تفاوت مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر ریشه مربعات (رابطه ۱۱)، لگاریتم (رابطه ۱۲) و عکس مقادیر

تبدیل بارش به بارش مؤثر (بخش غیرخطی)

در این بخش، بارش مؤثر از حاصل ضرب بارش کل در شاخص رطوبت خاک حوضه در هر بازه زمانی محاسبه می‌شود که به صورت رابطه (۱) است.

$$u_k = [c(\Phi_k - 1)]^P r_k \quad (1)$$

که در آن، C ضریب تعادل حجم بارش، l آستانه شاخص رطوبت خاک، P فاکتور واکنش غیرخطی و r_k بارش مشاهداتی است. Φ_k شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$\Phi_k = r_k + \left(1 - \frac{1}{\tau_k}\right) \Phi_{k-1} \quad (2)$$

که در آن، τ_k برابر شدت خشکی خاک و به‌عنوان تابعی از دما است که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\tau_k = \tau_w \exp(f(T_{ref} - T_k) \times 0.062) \quad (3)$$

که در آن، τ_w شدت خشکی خاک مبنا f تابع تعدیل دما (تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات)، T_{ref} دمای مرجع و T_k دما در بازه زمانی موردنظر هستند. بعد از محاسبه بارش مؤثر، هیدروگراف واحد کل با استفاده از بخش خطی در مدل محاسبه می‌گردد.

تبدیل بارش مؤثر به رواناب (بخش خطی)

بخش خطی دارای سه پارامتر τ_s ، τ_q و V_s (به ترتیب مدت‌زمانی که طول می‌کشد جریان سریع و آهسته کاهش یابد و حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد) است. ترکیب دو مؤلفه جریان سریع $x_k^{(q)}$ و جریان آهسته $x_k^{(s)}$ منجر به تولید رواناب x_k می‌شود که با استفاده از روابط (۴ تا ۶) محاسبه می‌گردد (Taesombat & Sriwongsitanon., 2010).

$$x_k = x_k^{(q)} + x_k^{(s)} \quad (4)$$

$$x_k^{(q)} = -\alpha_q x_{k-1}^{(q)} + \beta_q u_k \quad (5)$$

$$x_k^{(s)} = -\alpha_s x_{k-1}^{(s)} + \beta_s u_k \quad (6)$$

برآورد دبی جریان است. در معیار ضریب کارایی^{۱۵} (CE)، (رابطه ۱۶)، هر چه مقدار عددی ضریب مذکور به عدد یک نزدیک‌تر باشد، حاکی از توانایی بالاتر مدل در شبیه‌سازی خواهد بود. در این پژوهش، برای ارزیابی مدل هیدرولوژیکی از معیارهای R^2 ، NS و KGE استفاده شد که در جدول (۴) ارائه شده است.

$$R - \text{sqrt} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^m)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - \bar{Q}_o)^2} \quad (10)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\sqrt{Q_o} - \sqrt{Q_m})^2}{\sum (\sqrt{Q_o} - \sqrt{\bar{Q}_o})^2} \quad (11)$$

$$R^2 \log = 1 - \frac{\sum (\ln(Q_o + \varepsilon) - \ln(Q_m + \varepsilon))^2}{\sum (\ln(Q_o + \varepsilon) - \ln(\bar{Q}_o + \varepsilon))^2} \quad (12)$$

$$R^2_{\text{inv}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Q_i^o + \varepsilon} - \frac{1}{Q_i^m + \varepsilon} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Q_i^o + \varepsilon} - \frac{1}{\bar{Q}_o + \varepsilon} \right)^2} \quad (13)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_o - Q_m)^2} \quad (14)$$

$$C_E = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (15)$$

$$\text{RE} = \left| \frac{Q_o - Q_m}{Q_o} \right| \times 100 \quad (16)$$

نتایج و بحث

نتایج تغییر اقلیم

برای تعیین بهترین مدل در منطقه مطالعاتی، برونداد تاریخی ۶ مدل اقلیمی موردنظر و مدل ترکیبی را نسبت به داده‌های مشاهداتی با استفاده از معیارهای MAE، RMSE و MBE برای پارامترهای دما و بارش مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۵)، مشاهده می‌شود که مدل ترکیبی در پارامترهای بارش و دما دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های منفرد است. در نتیجه مدل ترکیبی دارای توانمندی بیشتری در

(رابطه ۱۳)، جایگزین شده‌اند (Croke & Jakeman., 2008; Littlewood *et al.*, 1997). مقادیر معیارهای خطای نسبی^{۱۴} (RE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) بر اساس روابط (۱۴) و (۱۵) محاسبه شدند (Sadeghi *et al.*, 2005). در معیار خطای نسبی، قدر مطلق اختلاف نسبی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به‌صورت درصد بیان می‌گردد. در هر دو معیار مذکور، مقادیر کمتر، نشان‌دهنده خطای کمتر مدل در

که در آن، Q_o داده‌های مشاهداتی، \bar{Q}_o میانگین داده‌های مشاهداتی، Q_m داده‌های شبیه‌سازی شده، ε مقداری است که برای داده‌های صفر جریان مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود و n تعداد مشاهدات است. مقدار ضریب تبیین بین منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و مقدار یک نشان‌دهنده تطابق کامل است. هر چه مقادیر سایر ضرایب به عدد یک نزدیک‌تر باشد، تناسب بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی بیشتر خواهد بود (Blaker & Norton., 2007; Sadeghi *et al.*, 2005).

¹⁵ Coefficient of Efficiency

¹⁴ Relative Error

سناریوی SSP245 و SSP585 انتخاب گردید؛ بنابراین ریزمقیاس نمایی پارامترهای بارش و دما تحت دو سناریوی انتشار برای مدل ترکیبی در دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۵۹ انجام شد.

شبیه‌سازی بارش و دمای مشاهداتی منطقه مورد مطالعه است. لذا این مدل به دلیل برتری در عملکرد نسبت به مدل‌های منفرد، برای بررسی و تحلیل تغییرات اقلیمی منطقه مطالعاتی تحت دو

جدول ۵- مقایسه آماری و انتخاب بهترین مدل

Table 5- Statistical comparison and selection of the best model

پارامتر	مدل	MBE	RMSE	MAE
بارش	ACCESS-CM2	-15.48	41.69	19.44
	CanESM5	1.77	11.89	6.96
	GFDL-ESM4	-27.15	48.26	28.36
	IPSL-CM6A-LR	-2.79	19.49	9.91
	MIROC6	-4.02	17.13	9.32
	MRI-ESM2-0	-16.38	32.22	18.75
	مدل ترکیبی	1.20	9.13	6.50
دما	ACCESS-CM2	1.39	3.76	3.10
	CanESM5	4.67	8.98	7.27
	GFDL-ESM4	2.93	8.29	6.74
	IPSL-CM6A-LR	1.51	3.14	2.33
	MIROC6	-7.34	8.76	7.55
	مدل ترکیبی	0.92	2.89	2.20

بارندگی در ماه‌های فصل تابستان خواهد بود. با توجه به جدول (۷) و شکل (۴) مشاهده می‌شود، مقادیر میانگین تغییرات ماهانه دما در برخی ماه‌ها دارای روند افزایشی است. بیشترین افزایش دما مربوط به ماه ژوئیه (۱۰ تیر تا ۹ مرداد) به میزان $1/70$ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی SSP585 نسبت به دوره مشاهداتی است. هم‌چنین مشاهده می‌شود میانگین تغییرات دما در فصل تابستان (ژوئن، ژوئیه، آگوست) نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر است. Roshani و Hamidi (۲۰۲۱) پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل‌های CMIP6 در ایستگاه ساری پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش بارش بود. Zareian (۲۰۲۱) در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6 تحت سناریوی انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 را بررسی کرد. نتایج نشان داد که در تمامی سناریوهای انتشار، دما افزایش و بارندگی کاهش پیدا خواهد کرد.

بررسی تغییرات پارامترهای دما و بارش در شرایط تغییر اقلیم

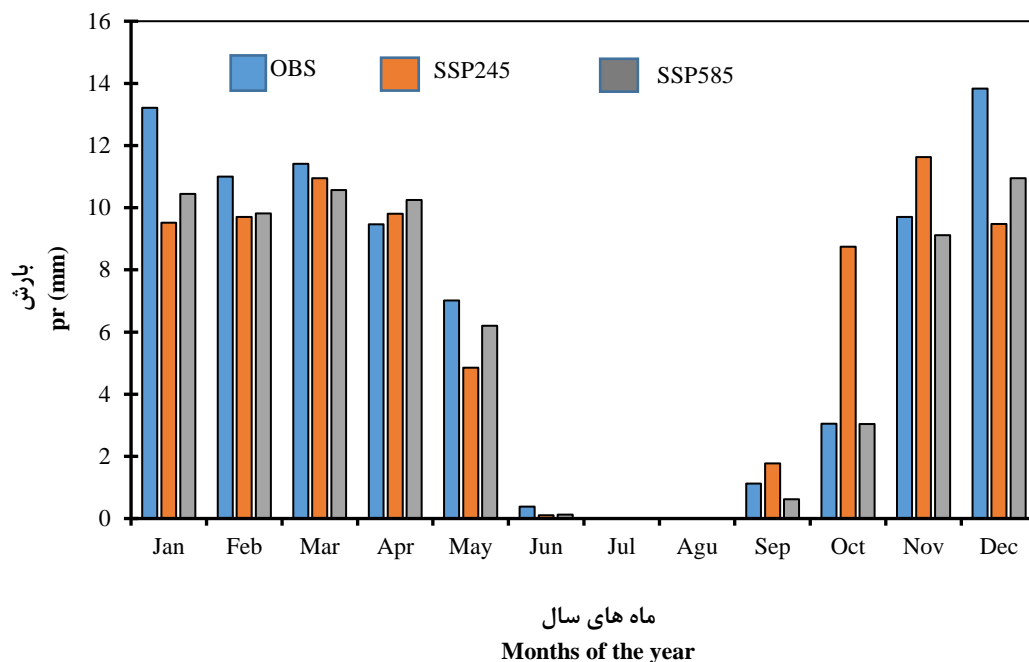
نتایج مقادیر میانگین ماهانه دما و بارش داده‌های مشاهداتی ایستگاه سد دز در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ و داده‌های خروجی مدل ترکیبی تحت دو سناریوی SSP245 و SSP585 در جدول‌های (۶ و ۷) و شکل‌های (۳ و ۴) نشان داده شده است. برای داده‌های بارش در جدول (۶) و شکل (۳) مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش بارش در ماه مارس (۱۰ اسفند تا ۱۱ فروردین) به میزان $0/46$ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهداتی در سناریوی SSP245 است و بیشترین کاهش بارندگی در ماه‌های ژوئیه و آگوست (۱۱ مرداد تا ۹ شهریور) خواهد بود. هم‌چنین، بارندگی مربوط به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد که بیشینه بارندگی‌ها در ماه‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) اتفاق می‌افتد. کاهش بارندگی در اغلب ماه‌ها (نسبت به دوره مشاهداتی) در سناریوی SSP245 بیشتر از SSP585 است و بیشترین کاهش

جدول ۶- مقایسه میانگین ماهانه بارش در دوره مشاهداتی و آینده تحت سناریوهای SSP245 و SSP585
 Table 6 - Comparison of monthly average precipitation in the observation period and the future under SSP245 and SSP585 scenarios

SSP585	SSP245	دوره مشاهداتی	ماه
10.44	9.52	13.21	ژانویه
9.82	9.70	11.00	فوریه
10.57	10.95	11.41	مارس
10.25	9.81	9.97	آوریل
6.20	4.85	7.02	می
0.13	0.11	0.38	ژوئن
0.00	0.00	0.00	ژوئیه
0.00	0.00	0.00	اگوست
0.62	1.77	1.13	سپتامبر
3.04	8.75	3.05	اکتبر
9.12	9.33	9.70	نوامبر
10.93	9.48	13.83	دسامبر

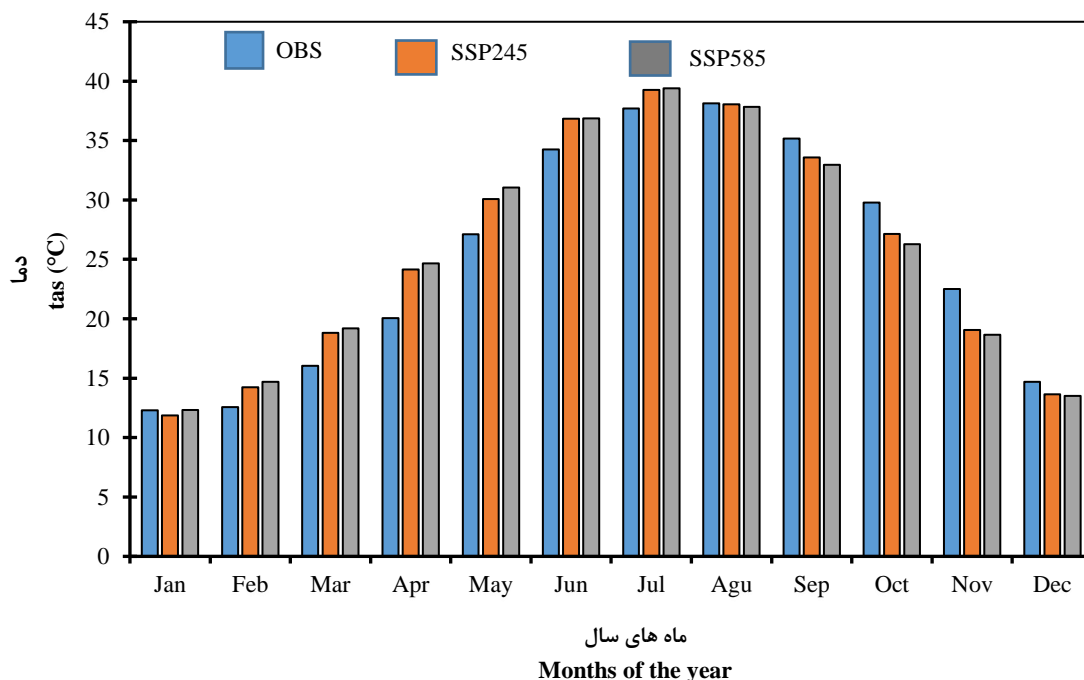
جدول ۷- مقایسه میانگین ماهانه دما در دوره مشاهداتی و آینده تحت سناریوهای SSP245 و SSP585
 Table 7 - Comparison of monthly average temperature in the observation period and the future under SSP245 and SSP585 scenarios

SSP585	SSP245	دوره مشاهداتی	ماه
12.32	11.87	12.30	ژانویه
14.69	14.24	12.56	فوریه
19.20	18.82	16.05	مارس
24.66	24.14	20.05	آوریل
31.06	30.08	27.11	می
36.87	36.85	34.24	ژوئن
39.40	39.26	37.70	ژوئیه
37.83	38.05	38.14	اگوست
32.95	33.58	35.18	سپتامبر
28.26	27.14	29.78	اکتبر
18.66	19.05	22.50	نوامبر
13.52	13.65	14.70	دسامبر



شکل ۳- تغییرات میانگین بلندمدت پارامتر بارش تحت سناریوهای SSP در دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۱-۲۰۲۰)

Figure 3- Long-term average changes of precipitation parameters under SSP scenarios in the future period (2030-2059) compared to the observation period (1991-2020)



شکل ۴- تغییرات میانگین بلندمدت پارامتر دما تحت سناریوهای SSP در دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۱-۲۰۲۰)

Figure 4- Long-term average changes of temperature parameters under SSP scenarios in the future period (2030-2059) compared to the observation period (1991-2020)

نتایج مدل IHACRES

به‌منظور شبیه‌سازی جریان در مقیاس ماهانه برای حوضه سد دز، ابتدا ۳ درصد از داده‌ها به‌عنوان Warm-Up مدل در نظر گرفته شد. از آنجا که مدل IHACRES برای اینکه بتواند دبی‌های حداکثر را به‌خوبی شبیه‌سازی کند، باید دوره واسنجی را به‌گونه‌ای در نظر گرفت که شامل تعداد کافی از این وقایع باشد؛ بنابراین با در نظر گرفتن این مطلب، در این پژوهش مدل IHACRES در سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۱ واسنجی گردید. پارامترهای بهینه‌شده برای حوضه تله‌زنگ

حوضه بالادست سد دز و هم‌چنین نتایج عملکرد حوضه به ترتیب در جدول‌های (۸ و ۹) آورده شده است. در مرحله بعد، مدل واسنجی شده در طول سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۲۰ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. پس از اجرای مدل برای حوضه و انجام واسنجی با روش سعی و خطا، مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده، امکان ارزیابی کلی و سریع مدل را فراهم می‌کند. بر این اساس، مقایسه کرافیکی مقادیر ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده جریان برای مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب در شکل‌های (۵ و ۶) ارائه شده است.

جدول ۸- مقادیر پارامترهای بهینه به‌دست‌آمده از مرحله واسنجی مدل IHACRES در حوضه تله‌زنگ

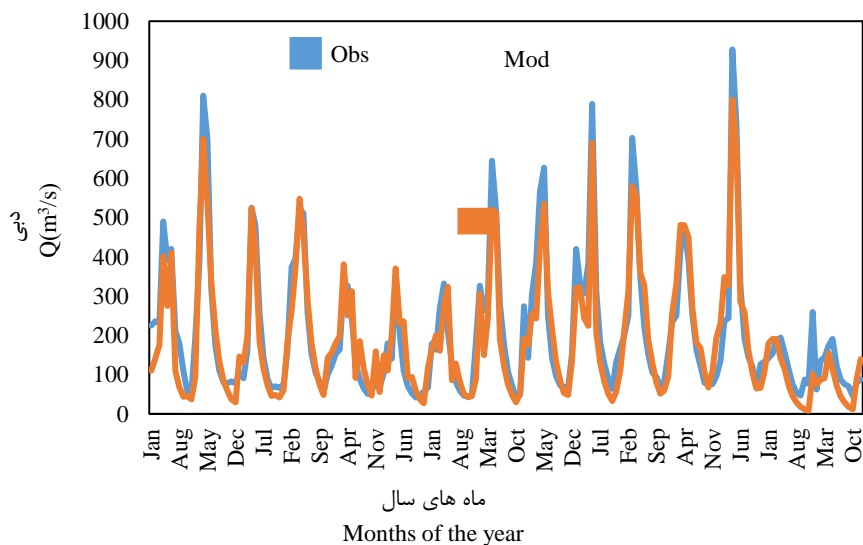
Table 8- The values of the optimal parameters obtained from the recalibration stage of the IHACRES model in the Tale- Zang watershed

پارامتر	V(s)	T(s)	C	f	T(w)
مقادیر اولیه	1.00	3.92	29.99	0.00	2.00
مقادیر واسنجی و بهینه	1.00	2.17	0.057940	3.00	30.00

جدول ۹- نتایج عملکرد مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES

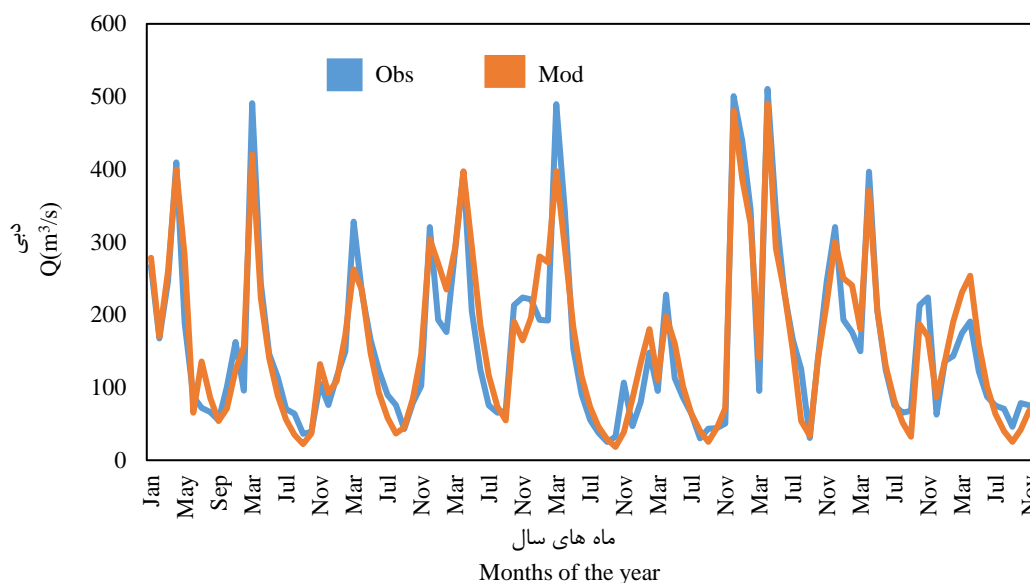
Table 9- Performance results of the calibration and validation stage of the IHACRES model

دوره	R ²	NS	KGE
واسنجی	0.86	0.84	0.84
صحت‌سنجی	0.93	0.87	0.92



شکل ۵- سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده توسط مدل IHACRES در دوره واسنجی

Figure 5- Observed and predicted runoff time series by the IHACRES model in the calibration period



شکل ۶- سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده توسط مدل IHACRES در دوره صحت‌سنجی
Figure 6- The observed and predicted runoff time series by the IHACRES model during the validation period

نشان‌دهنده سرعت واکنش حوزه آبخیز نسبت به بارش است. مقدار به‌دست‌آمده برای این دو عامل در این حوضه بسیار کم بوده و بنابراین حوضه نسبت به بارش با سرعت کمتری واکنش نشان می‌دهد، که علت آن را احتمالاً می‌توان در وجود پوشش جنگلی در بخش‌هایی از حوضه دانست که باعث تأخیر در تولید جریان می‌شود. بر اساس نتایج، مدل IHACRES توانایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان در دوره‌های مرطوب یا به عبارتی دبی‌های بالا داشته است، این در حالی است که در مورد دبی‌های کم جریان این تطابق کمتر است. در مرحله واسنجی، کمترین و بیشترین دبی پایه به ترتیب، $39/65 \text{ m}^3/\text{s}$ در ماه اکتبر (۹ مهر تا ۹ آبان) و $928/19 \text{ m}^3/\text{s}$ در ماه آوریل بوده است. هم‌چنین، کمترین و بیشترین دبی آینده به ترتیب، $7/93 \text{ m}^3/\text{s}$ در ماه نوامبر و $800/20 \text{ m}^3/\text{s}$ در ماه آوریل بود. در مرحله صحت‌سنجی، کمترین دبی پایه $25/11 \text{ m}^3/\text{s}$ در ماه سپتامبر (۱۰ شهریور تا ۸ مهر) و کمترین دبی آینده $18/30 \text{ m}^3/\text{s}$ در ماه اکتبر بوده است. هم‌چنین، بیشترین و کمترین دبی پایه و آینده در ماه آوریل به ترتیب با مقادیر $510/56 \text{ m}^3/\text{s}$ و $490/54 \text{ m}^3/\text{s}$ بود.

با استفاده از اطلاعات جدول (۹)، در ایستگاه مطالعاتی مقادیر معیارهای ارزیابی قابل مشاهده است. Motovilov و همکاران (۱۹۹۹) که مطالعه‌ای بر اساس ۷ سال داده انجام دادند، بیان نموده‌اند که اگر مقادیر NS و R^2 در ارزیابی مدل بزرگ‌تر یا مساوی $0/75$ باشد، نتایج خوب و در صورتی که این مقدار $0/36$ تا $0/75$ باشد، نتایج شبیه‌سازی قابل قبول است؛ بنابراین، نتایج ایستگاه مطالعاتی قابل قبول است و مدل IHACRES توانسته است جریان را تا حد قابل قبولی شبیه‌سازی کند. با توجه به عملکرد در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی در شکل‌های (۵ و ۶) می‌توان دریافت که عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان در مرحله صحت‌سنجی بهتر از مرحله واسنجی بوده است که این نتیجه با نتایج Muelchi و همکاران (۲۰۲۱) و Asgari و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. پارامتر $v(\text{s})$ نشان‌دهنده مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه‌ای است و مقادیر زیاد این پارامتر نشان‌دهنده وجود جریان پایه بیشتر رودخانه است. این نتیجه با نتایج Zareii و همکاران (۲۰۱۰) و Kheirfam و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. C حجم رطوبت ذخیره‌شده در حوضه برحسب میلی‌متر است و

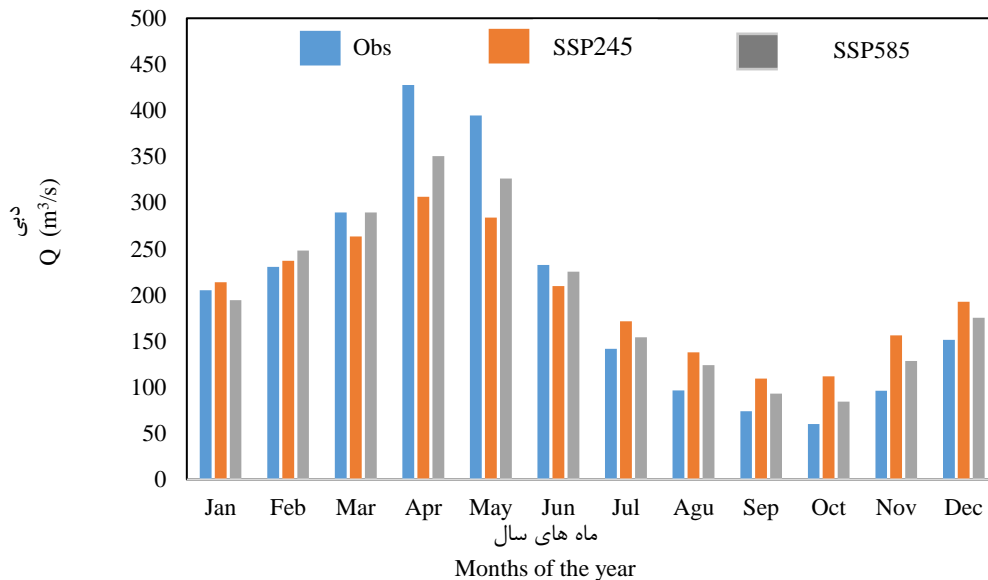
دوره آتی با متوسط رواناب دوره مشاهداتی در هر دو سناریو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹ به میزان $1/38 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP245 و به میزان $0/9 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP585 نسبت به دوره مشاهداتی کاهش خواهد یافت (جدول ۱۰).

پیش‌بینی جریان آینده حوضه آبریز سد دز تحت شرایط تغییر اقلیم

در این مرحله به منظور پیش‌بینی جریان در افق‌های آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم از داده‌های ریزمقیاس شده به‌عنوان ورودی مدل هیدرولوژیکی استفاده شد. سپس متوسط رواناب درازمدت (۳۰ ساله)

جدول ۱۰- پارامتر آماری سالانه دبی تحت سناریوهای SSP245 و SSP585 در مدل IHACRES
Table 10- Annual statistical parameters of discharge under the SSP245 and SSP585 scenarios in the IHACRES model

متوسط سالانه دبی (m^3/s)	سناریوها و دوره پایه
200.34	1991-2020
198.96	SSP245
199.44	SSP585



شکل ۷- میانگین درازمدت ماهانه رواناب طی دوره مشاهداتی و دوره‌های تغییرات اقلیمی سناریوهای SSP245 و SSP585
Figure 7- Long-term average monthly runoff during the observation period and climate change periods of SSP245 and SSP585 scenarios

به دوره مشاهداتی انتظار خواهیم داشت. بیشترین میزان افزایش رواناب در هر دو سناریو نسبت به دوره مشاهداتی در ماه فوریه به میزان $248/20 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP585 و کمترین میزان آن در ماه ژانویه به میزان $194/26 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP245 است.

با توجه به نتایج شکل (۷)، در برخی از ماه‌های سال افزایش و در برخی دیگر کاهش میزان رواناب در دوره آتی را شاهد خواهیم بود. افزایش میزان رواناب در هر دو سناریو در ماه‌های فوریه، ژوئیه، آگوست (۱۰ مرداد تا ۹ شهریور)، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر و در سایر ماه‌ها کاهش میزان رواناب را طی دوره آتی نسبت

نتیجه‌گیری

است. افزایش دما در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال اتفاق می‌افتد. بنابراین، با بررسی نتایج مشخص شد که سازگاری خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده وجود دارد و مدل BCSO عملکرد مناسبی برای شبیه‌سازی بارش و دما در ایستگاه سد دز را دارد و می‌توان از آن در برآورد این متغیرها در دوره‌های آینده بهره برد. همچنین، بر اساس نتایج، مدل IHACRES توانایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان در دوره‌های مرطوب یا به عبارتی دبی‌های بالا داشته است، این در حالی است که در مورد دبی‌های کم جریان این تطابق کمتر است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹ به میزان $1/38 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP245 و به میزان $0/9 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP585 نسبت به دوره مشاهداتی کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش رواناب در هر دو سناریو نسبت به دوره مشاهداتی در ماه فوریه به میزان $248/20 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP585 و کمترین میزان آن در ماه ژانویه به میزان $194/26 \text{ m}^3/\text{s}$ در سناریوی SSP245 است. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و طول عمر مفید سد برای مدیریت منابع آب ضروری است. از نتایج این پژوهش می‌توان در تحلیل خشک‌سالی‌ها، کنترل سیلاب‌های مخرب، تخصیص منابع آب سطحی، زیرزمینی، بالا بردن تنظیم آب برای مصارف شرب و کشاورزی و مدیریت جامع منابع آب در سطح حوضه کاربردی خواهد بود.

در این پژوهش از جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ششم IPCC تدوین شده و تطابق‌پذیری مناسب‌تری با شرایط اقلیمی کره زمین دارد استفاده شد. برای رسیدن به این هدف از یکی از پرکاربردترین مدل‌های ریزمقیاس‌نمائی (BCSD) استفاده گردید. همچنین از ۶ مدل AOGCM که تا لحظه نگارش این پژوهش هر دو داده‌های دمای میانگین و بارش آن‌ها در هر دو سناریوی SSP245 و SSP585 برای دوره تاریخی (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹) بر روی پایگاه‌های اطلاعاتی قرار داشت استخراج گردید. سپس از مدل BCSO برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها استفاده شد و با به کار بردن آزمون‌های آماری MAE، RMSE و MBE مدل‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی نسبت به ۶ مدل منفرد دیگر عملکرد بهتری دارد و همچنین تناسب بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد و دارای کمترین مقدار RMSE در هر دو پارامتر نسبت به سایر مدل‌ها است. بنابراین مدل ترکیبی جهت چشم‌انداز پارامترهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه تحت دو سناریوی انتشار SSP245 و SSP585 در دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹) استفاده شد. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین بارندگی‌ها در ماه‌های فصل زمستان رخ می‌دهد. کاهش بارندگی در اغلب ماه‌ها (نسبت به دوره مشاهداتی) در سناریوی SSP245 بیشتر از SSP585 است و بیشترین کاهش بارندگی در ماه‌های فصل تابستان خواهد بود. همچنین، دما در اغلب ماه‌ها در هر دو سناریو نسبت به دوره مشاهداتی افزایش داشته

References

Asgari, E., Baaghdeh, M., Entezari, A., Hoseini, M., & Kamyar, A. (2022). Evaluation of changes in reservoir volume and inflow to Dez Dam under climate change conditions. *Physical Geography Research Quarterly*, 54(3), 365-384. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.347398.1007721> (In Persian)

Blackshear, B., Crocker, T., Drucker, E., Filoon, J., Knelman, J., & Skiles, M. (2011). *Hydropower Vulnerability and Climate Change, A Framework for Modeling the Future of Global Hydroelectric Resources*. Middlebury College Environmental Studies Senior Seminar, Middlebury, VT, USA.

Blaker, R.S., & Norton, J.P. (2007). Efficient investigation of the feasible parameter set

- for large models. Proceeding of the International Congress on Modelling and Simulation, *MODSIM: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*, 1526-1532.
- Brekke, L., Thrasher, B.L., Maurer, E.P., & Pruitt, T. (2013). *Downscaled CMIP3 and CMIP5 Climate Projections: Release of Downscaled CMIP5 Climate Projections, Comparison with Preceding Information, and Summary of User Needs*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, Colorado, (p.116).
- Chu, J.T., Xia, J., Xu, C.Y., & Singh, V.P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical Applied Climatology*, 99, 149-161. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-01296>
- Croke, B.F., & Jakeman, A.J. (2008). *Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi-arid regions*. In: H.S. Wheater, S. Sorooshian and K.D. Sharma, (eds.) *Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas*, 41-48. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535734.005>
- Fu, G., & Charles, S.P. (2011). *Statistical downscaling of daily rainfall for southeastern Australia*. In Proceedings of the Symposium JH02 Held during IUGG2011, Melbourne, Australia, 28 June-7 July 2011; IAHS Publ 344; IAHS Press: Wallingford, Melbourn, Australia, 69-74.
- Gohari, A., Zareian, M.J., & Eslamian, S. (2015). *A multi-model framework for climate change impact assessment. handbook of climate change adaptation*, Ed. By Leal Filho, W., Springer, 17-35.
- Han, Z., Zuo, Q., Wang, Ch., & Gan, R. (2023). Impact of climate change on natural runoff in the Yelliw River Basin of china during 1961-2020. *Journal of Water*, 15(5), 929. <https://doi.org/10.3390/w15050929>
- Harpham, C., & Wilby, R.L. (2005). Multi-site downscaling of heavy daily precipitation occurrence and amounts. *Journal of Hydrology*, 312, 235-255. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.020>
- IPCC. (2007). Summary for policymakers. contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change: impacts, adaptation and vulnerability; Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. In Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Khadempour, F., Khozayemehnezhad, H., & Amirabadizadeh, M. (2019). Investigating the effects of climate change on daily evapotranspiration in models with different mathematical structures in various climates of Iran. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.)*, 33(1), 149-163. <https://doi.org/10.22092/jwra.2019.119121> (In Persian)
- Khadempour, F., & Amirabadizadeh, M. (2019). Investigating climate change scenarios based on the results of microscale statistical rotation method for temperature variable (case study: Yasouj station). *The 4th International Congress of Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran, Tabriz- Tabriz University of Islamic Arts, Permanent Secretariat- Miyad University and in cooperation with Shiraz University, Yasouj University and Mazandaran University, 23-25 August 2018*. <https://civillica.com/doc/97132> (In Persian)
- Kheirfam, H., Mostafazadeh, R., & Sadeghi, S.H.R. (2013). Daily discharge prediction using ihacres model in some watersheds of Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 4(7), 114-127. (In Persian)
- Littlewood, I.G., Down, K., Parker, J., & Post, D. (1997). *IHACRES v1.0 user guide*. Center for ecology and hydrology, wallingford, UK and Intergrated catchment assessment and management center, Australian National University, Canberra, (pp. 94).
- Liu, W., Fu, G., Liu, C., Song, X., & Ouyang, R. (2013). Projection of future rainfall for the North China Plain using two statistical downscaling models and its hydrological implications. *Stoch. Environmental*

- Research and Risk Assessment*, 27(8), 1783–1797.
<https://doi.org/10.1007/s00477-013-0714-1>
- Lopez-Ballesteros, A., Senent-Aparicio, J., Martinez, C., & Perez-Sanchez, J. (2020). Assessment of future hydrologic alteration due to climate change in the Arachos River basin (NW Greece). *Science of the Total Environment*, 733, 139299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139299>
- Ma, Z.F., Liu, J., & Yang, S.Q. (2013). Climate Change in Southwest China during 1961–2010: Impacts and Adaptation. *Advances in Climate Change Research*, 4(4), 223–229. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2013.223>
- McIntyre, N., & Al-Qurashi, A. (2009). Performance of ten rainfall-runoff models applied to an arid catchment in Oman. *Environmental Modelling and Software*, 24(6), 726–738. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.11.001>
- Motovilov, Y. G., Gottschalk, L., Engeland, K., & Rodhe, A. (1999). Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98–99, 257–277. [https://doi.org/10.1016/S01681923\(99\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S01681923(99)00102-1)
- Muelchi, R., Rossler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R., & Martius, O. (2021). An ensemble of daily simulated runoff data (1981–2099) under climate change conditions for 93 catchments in Switzerland (Hydro-CH2018-Runoff ensemble). *Geoscience Data Journal*, 9(1), 46–57. <https://doi.org/10.1002/gdj3.117>
- Niroumandfard, F., Khashei Sivaki, A., Hashemi, R., & Ghorbani, Kh. (2022). Investigation of climate change projection on temperature and precipitation parameters using cmip 6 models (Case study: Birjand Station). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(9), 2009–2026. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.343936.669284> (In Persian).
- O'Neil, B.C., Tebaldi, C., & van Vuuren, D.P. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9, 3461–82. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fichet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., & Stouffer, R.J. (2007). Climate models and their evaluation. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Roshani, A., & Hamidi, M. (2021). Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature & precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station). *Water management and Irrigation*, 11(4), 781–795. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.330603.920> (In Persian)
- Sadeghi, S.H.R., Yasrebi, B., & NoorMohammadi, F. (2005). Development and analysis of monthly precipitation runoff relationships for Haraz Watershed in Mazandaran Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khazar*, 3(1), 1–12. (In Persian)
- Taesombat, W., & Sriwongsitanon, N. (2010). Flood investigation in the upper Ping River basin using mathematical models. *Kasetsart Natural Science*, 44(1), 152–166.
- Tebaldi, C., K. Debeire, V. Eyring, E. Fischer, J. Fyfe, P. Friedlingstein, R. Knutti, J. Lowe, B. O'Neill, B. Sanderson., & D. van Vuuren. (2021). Climate model projections from the scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*, 12(1), 253–293. <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021>
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., & Barrow, E.M. (2002). SDSM—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145–157. [https://doi.org/10.1016/S13648152\(01\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S13648152(01)00060-3)
- Yazdandoost, F., Moradian, S., Izadi, A., & Aghakouchak, A. (2021). Evaluation of CMIP6 precipitation simulations across different climate zones; Uncertainty and model intercomparison. *Journal of Atmospheric Research*, 250, 105369.

- <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105369>
- Ye, W., Jakeman, A.J., & Young, P.C. (1998). Identification of improved rainfall-runoff models for an ephemeral low-yieldind Australian catchement. *Environmental Modelling and Software*, 13(1), 59-74. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00004-8)
- Zareii, M., Habibenegad, M., Ghanbarpour, M.R., & Shahedi, K. (2010). Hydrological Model Classification and Description IHACRES Rainfall-Runoff Model. *The 5th National Conference on Watershed Sciences and Engineering of Iran (Sustainable Management of Natural Disasters)*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).
- Zareian, M. J., Eslamian, S., & Safavi, H.R. (2015). A modified regionalization weighting approach for climate change impact assessment at watershed scale. *Theoretical and Applied Climatology* 122(3), 497-516. (In Persian)
- Zareian, M.J. (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)
- Zhao, X., Fang, K., Chen, F., Martin, H., & Roig, F.A. (2023). Reconstructed Jing River streamflow from western China; a 399-year perspective for hydrological changes in the Loess Plateau. *Journal of Hydrology*, 621, 129573. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129573>

Spatial analysis of cultural ecosystem services for sustainable land-use planning in Chaharmahal-Bakhtiari Province

Fatemeh Mohammadyari^{1*}, Khodayar Abdollahi²

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

2. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

* Corresponding author: mohammadyari.f@sku.ac.ir

(Received: 01 May 2024

Revised: 29 May 2024

Accepted: 09 Jun 2024)

Extended Abstract

Introduction: Cultural ecosystem services (CES) are the non-material benefits that humans derive from ecosystems, encompassing spiritual fulfillment, psychological development, cognitive engagement, recreation, and aesthetic experiences. These services enhance human well-being by fostering a sense of place, reducing stress, promoting physical and mental health, cultivating social connections, supporting spiritual and cultural practices, and enriching recreational activities. Despite their importance, CES are often undervalued in planning and land management, leading to the erosion of cultural identity, lifestyle degradation, and increased social inequalities. This study focuses on the Chaharmahal-Bakhtiari province, known for its diverse natural landscapes and cultural heritage, to understand and quantify the distribution and importance of CES. It is widely recognized that applying the ecosystem services framework in managerial decision-making and planning depends on identifying various value types, particularly CES. While there is a growing inclination towards quantifying ecosystem services for land-use planning, substantial knowledge gaps remain concerning CES, especially within urban ecosystems. This study aims to address these gaps by quantifying CES in Chaharmahal-Bakhtiari province, a region significantly impacting urban welfare yet inadequately explored in ecosystem services research.

Materials and methods: The research aims to quantify and spatially zone seven prevalent categories of CES: education, recreation, spirituality and religion, aesthetics, inspiration, heritage, and sense of place. The study integrates mathematical models and multi-criteria evaluation to achieve this. The significance and prioritization of each service category were determined through expert consultation, with weights assigned using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The Getis-Ord G_i^* tool was employed to delineate areas with the potential to provide comprehensive CES, allowing for a detailed analysis of the spatial distribution of these services across the province.

Results and Discussion: The study's findings highlight aesthetic and recreational values as the most significant CES, with weights of 0.17 and 0.15, respectively. These results highlight the importance of these two values among other types of CES and can potentially encourage the exploration and engagement with additional cultural services. The results indicate that, the southern regions, characterized by natural vegetation, landforms, and attractions such as waterfalls, exhibit higher aesthetic values compared to other parts. Recreational opportunities are notably present in the northwestern and southern parts of the province, including areas like Kohrang, Lordegan, Ardal and Borujen, predominantly covered by forests. Overall, about 26% of the province's area has a high potential for providing CES. The zoning results reveal a north-to-south gradient in CES provision, peaking in the central lowlands (Sabzekoh and Helen protected areas) and diminishing towards the southern extremity. The east-west axis shows the most substantial CES supply in the eastern locales of the province.

Conclusion: The results of this study have significant implications for land-use planning and management. Areas with high CES potential often lack formal protection, their future viability is threatened by land-use changes and human activities. This poses a risk to the province's natural heritage and the continued provision of CES. Therefore, protecting these high-capacity areas should be a priority in spatial planning to prevent future land-use alterations and urban expansion from diminishing CES flows. The results showed that, CES in Chaharmahal-Bakhtiari province play a crucial role in attracting tourists and conserving the environment, serving as a vital foundation for the region's sustainable development. The spatial representation of high-potential CES areas provided by this study enables managers and planners to focus their decision-making on these zones, facilitating time and cost savings and enhancing land-use management in the province. This ensures the preservation and promotion of its cultural and natural assets for future generations.

Keywords: Cultural Ecosystem Services, Multi-Criteria Decision Making, Spatial Distribution, Chaharmahal-Bakhtiari

Citation: Mohammadyari, F. & Abdollahi, Kh. (2025). Spatial analysis of cultural ecosystem services for sustainable land-use planning in Chaharmahal-Bakhtiari Province. *Integrated Watershed Management*, 4(4), 51-65. doi: 10.22034/iwm.2024.2027322.1149

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 فضایی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان به‌منظور برنامه‌ریزی کاربری پایدار زمین در استان چهارمحال و بختیاری

فاطمه محمدیاری^{۱*}، خدایار عبدالهی^۲

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

۲- گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

چکیده مبسوط

مقدمه: خدمات فرهنگی بوم‌سازگان به مزایای غیرمادی که انسان‌ها از بوم‌سازگان از طریق رضایت روحی، رشد روانی، تفکر، سرگرمی و تجربه زیبایی شناختی به دست می‌آورند، گفته می‌شود. این خدمات با ایجاد حس مکان، کاهش استرس، ارتقای سلامت جسمی و روانی، توسعه روابط اجتماعی، حمایت از اعمال معنوی، میراث فرهنگی و فعالیت‌های تفریحی به رفاه انسان کمک می‌کند و نادیده گرفتن آنها در برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و آمایش سرزمین باعث نابودی هویت و سبک زندگی و افزایش نابرابری‌های اجتماعی خواهد شد. به‌طور کلی مشخص شده است که استفاده از چارچوب خدمات بوم‌سازگان در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مدیریتی به شناسایی انواع ارزش‌ها، به ویژه خدمات فرهنگی بوم‌سازگان بستگی دارد. علی‌رغم تمایل روزافزون به سمت کمی کردن خدمات بوم‌سازگان برای برنامه‌ریزی کاربری زمین، شکاف‌های دانش قابل توجهی در مورد خدمات فرهنگی بوم‌سازگان، به ویژه در بوم‌سازگان‌های شهری، باقی مانده است. بدین منظور، در این مطالعه به کمی‌سازی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در استان چهارمحال و بختیاری که علی‌رغم ارتباط آن رفاه ساکنان شهری، به اندازه کافی در تحقیقات خدمات بوم‌سازگان کاوش نشده است، پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر به کمی‌سازی و پهنه‌بندی هفت دسته رایج خدمات فرهنگی شامل آموزشی، تفریح، معنوی و مذهبی، زیبایی‌شناختی، الهام‌بخشی، میراث و حس مکان با تلفیق مدل‌های ریاضی و ارزیابی چندمعیاره پرداخته است. اهمیت و اولویت‌بندی هر کدام از این خدمات توسط کارشناسان تعیین شد و با روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به هر کدام از آنها وزنی اختصاص داده شد. همچنین به منظور نشان دادن مناطق دارای پتانسیل عرضه کل خدمات فرهنگی بوم‌سازگان، پهنه‌بندی این خدمات با استفاده از جعبه ابزار $Getis-ord\ Gi^*$ انجام شد.

نتایج و بحث: باتوجه به نتایج، ارزش‌های زیبایی‌شناختی و تفریح به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۱۷ و ۰/۱۵ بیشترین اهمیت را در بین خدمات اکوسیستم فرهنگی به خود اختصاص دادند. این نتایج کاملاً منعکس‌کننده اهمیت این دو ارزش در بین انواع دیگر خدمات اکوسیستم فرهنگی است، که می‌توانند زمینه‌ساز انگیزه برای تجربه کردن سایر خدمات فرهنگی باشند. نتایج حاکی از این است که ارزش زیبایی‌شناختی در قسمت‌های جنوبی استان نسبت به سایر قسمت‌ها بیشتر است. اگرچه توزیع لکه‌ای مناطق بارز در منطقه ناهمگن است اما به طور کلی توزیع این خدمت بیشتر تحت تاثیر پوشش گیاهی طبیعی، شکل زمین و جاذبه‌های طبیعی مانند آبشارها قرار گرفته است. دسترسی به فرصت‌های تفریحی در این مطالعه در قسمت‌هایی از کوهرنگ، لردگان، اردل و بروجن مشاهده شد که پوشش غالب این قسمت‌ها اراضی جنگلی است. در مجموع باتوجه به نتایج پهنه‌بندی، حدود ۲۶ درصد از مساحت منطقه پتانسیل بالایی برای عرضه خدمات فرهنگی بوم‌سازگان دارد. در این راستا، از جهت شمال به جنوب تدارک این خدمات افزایش می‌یابد و به حداکثر مقدار خود در قسمت میانی استان (مناطق حفاظت شده سبزکوه و هلن) می‌رسد. سپس در انتهای جنوب استان کاهش می‌یابد. در نوار شرقی- غربی نیز بیشترین عرضه به صورت لکه‌ای در شرق منطقه متمرکز شده است.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این مطالعه، بیشتر مکان‌های با پتانسیل بالای خدمات فرهنگی در جاهایی واقع شده‌اند که هیچ حفاظتی از آنها صورت نمی‌گیرد و از آنجایی که پوشش غالب این مکان‌ها اراضی جنگلی است، بقای آنها در آینده با تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی مؤثر بر دارایی‌های طبیعی در استان به خطر می‌افتد. لذا در تصمیم‌گیری‌های آمایشی، حفاظت از مناطق دارای ظرفیت بالا، برای ارائه خدمات بوم‌سازگان باید در اولویت قرار گیرد به طوری که تغییرات کاربری و گسترش شهری در آینده منجر به کاهش جریان‌های خدمات بوم‌سازگان در این مناطق نشود. نتایج نشان داد که خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در استان چهارمحال و بختیاری می‌تواند نقش مهم و حائز اهمیتی در جذب گردشگران و حفظ محیط‌زیست داشته باشد که به عنوان یک پایه مؤثر برای توسعه پایدار منطقه لازم است. به طور کلی این مطالعه با ارائه توزیع مکانی مناطق با پتانسیل بالای عرضه خدمات فرهنگی بوم‌سازگان، به مدیران و برنامه‌ریزان این امکان را می‌دهد که دامنه تصمیم‌گیری خود را به این مکان‌ها معطوف کنند و با صرفه‌جویی در زمان و هزینه باعث بهبود مدیریت کاربری اراضی در استان شوند.

واژه‌های کلیدی: خدمات فرهنگی بوم‌سازگان، تصمیم‌گیری چندمعیاره، توزیع مکانی، چهارمحال و بختیاری

استناد: محمدیاری، ف؛ و عبدالهی، خ. (۱۴۰۳). تحلیل فضایی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان به‌منظور برنامه‌ریزی کاربری پایدار زمین در استان چهارمحال و بختیاری. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۵۱-۶۵.

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

لزوم در نظر گرفتن خدمات بوم‌سازگان^۱ به‌عنوان ابزاری موثر در مدیریت محیط‌زیستی، با افزایش نگرانی‌ها از طرف دولت‌های جهان و مطالعات قابل توجه در این زمینه نشان داده شده (Zhang et al., 2022) و به موضوعی محبوب در اکولوژی، محیط‌زیست و سایر علوم تبدیل شده است (Galic et al., 2019; Liu et al., 2021). خدمات بوم‌سازگان سودی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط یک بوم‌سازگان از طریق ترکیب، فرآیندها و عملکردهای آن تامین می‌شود و عرضه پایدار آنها برای حفاظت از امنیت محیط‌زیستی منطقه‌ای، ملی و جهانی حیاتی است (Pan et al., 2022). در میان کمک‌های بزرگ بوم‌سازگان‌ها به رفاه انسان، خدمات فرهنگی بوم‌سازگان^۲ به دلیل ناملموس بودن، چالش‌های روش‌شناختی و دشواری کمی‌سازی، همیشه در کمک‌های روانی و عاطفی برای یک سبک زندگی پایدار در سطح شخصی نادیده گرفته می‌شوند (Wang and Hayashi, 2023) و در مقایسه با مطالعات مربوط به ارائه^۳، تنظیم^۴ و پشتیبانی^۵ خدمات، مطالعات در مورد این خدمت ناکافی است (Cheng et al., 2019; Meng et al., 2020). خدمات فرهنگی بوم‌سازگان بر اساس تعریف ارزیابی بوم‌سازگان هزاره^۶، به مزایای نامشهود که انسان‌ها از بوم‌سازگان از طریق رضایت روحی، تفکر، سرگرمی و تجربه زیبایی‌شناختی^۷ به دست می‌آورند، گفته می‌شود (MEA, 2005). این مفهوم باعث می‌شود تا کمک‌های غیرمادی به رفاه انسان چارچوب‌بندی (Ebner et al., 2022) و یک قلمرو تجربی از تعاملات انسانی و درک محیط طبیعی ایجاد شود (Ryfield et al., 2019; Spanou et al., 2020; Tajima et al., 2023; Tajima et al., 2023). این خدمات شامل اوقات فراغت، سلامت جسمی و روانی،

گردشگری، زیبایی‌شناسی، قدردانی و الهام^۸، تجربه معنوی^۹، حس (تعلق) مکان^{۱۰}، ارزش‌های آموزشی^{۱۱} و ارزش‌های میراث^{۱۲} است (Kim and Son, 2021; Wu et al., 2022; Santana-Santana et al., 2022). برخلاف سایر خدمات بوم‌سازگان که برای درک اهمیت آنها به دانش تخصص نیاز است، خدمات فرهنگی بوم‌سازگان مستقیماً توسط افراد مختلف از هر طبقه‌ای، درک و تجربه می‌شوند (Sen and Guchhait, 2021; Zhao et al., 2023). ارزیابی‌های خدمات فرهنگی بوم‌سازگان توانایی اکوسیستم‌ها برای ارائه این خدمات را تعیین می‌کند (Zhao et al., 2019) و نادیده گرفتن آنها در برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و آمایش سرزمین باعث نابودی هویت و سبک زندگی و افزایش نابرابری‌های اجتماعی خواهد شد (Klain et al., 2014). با توجه به ناملموس بودن خدمات فرهنگی بوم‌سازگان، ادراک مردم از این خدمات تحت تأثیر نیازهای فرهنگی مختلف و مقیاس‌های مکانی-زمانی قرار می‌گیرد؛ بنابراین شکاف‌های مفهومی برای ارزیابی این خدمات ادامه دارد زیرا هیچ چارچوب پذیرفته شده‌ای برای استخراج ارزش‌های کمتر ملموس وجود ندارد (Riechers et al., 2016). اگرچه، ارزیابی دقیق این خدمات و گنجاندن آن در برنامه‌های سیاستی با توجه به تعاملات پیچیده ویژگی‌های منطقه‌ای، بافت تاریخی، فرهنگی، اقتصادی و ذینفعان مختلف چالش بزرگی است (Alvarez-Codoceo et al., 2021)، اما راهی برای ایجاد انگیزه به منظور حفاظت از بوم‌سازگان‌ها (Wei et al., 2018) و کاهش آسیب‌پذیری خدمات ارائه شده توسط آنها است (Enssle and Kabisch, 2020). به منظور ارزیابی و کمی‌سازی انواع مختلف این خدمات روش‌هایی مانند مدل SolVES (Depietri et al., 2021)، مدل InVEST (Caro et al.,

⁷ Aesthetic

⁸ Appreciation and inspiration

⁹ Spiritual experience

¹⁰ Sense of place

¹¹ Educational values

¹² Heritage values

¹ Ecosystem Services (ES)

² Cultural ecosystem services

³ Provisioning

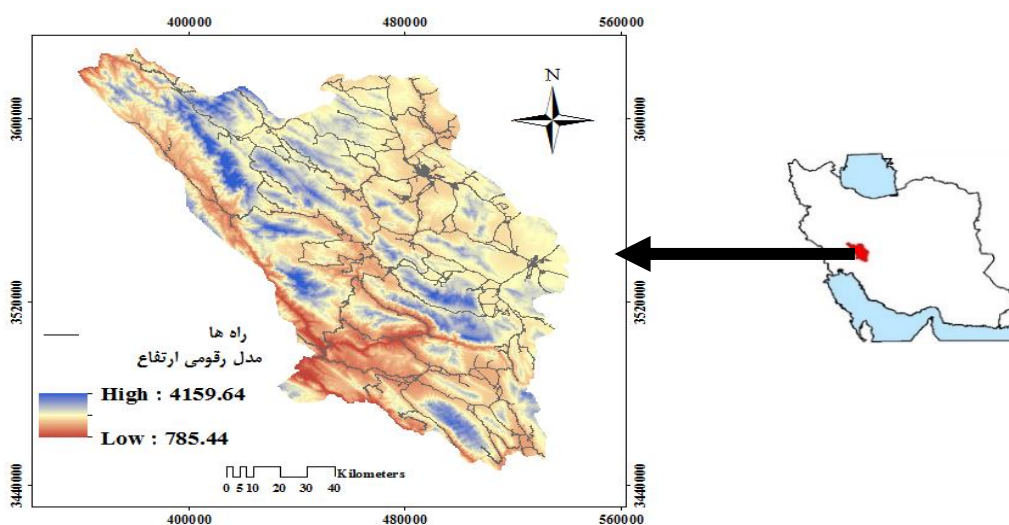
⁴ Regulating

⁵ Supporting

⁶ Millennium Ecosystem Assessment (MEA)

طبیعی ملی (لاله واژگون)، یک پارک ملی (تنگ صیاد)، یک پناهگاه حیات وحش (شیرستان) و پنج منطقه حفاظت شده (تنگ صیاد، هلن، سبزکوه، شیدا و قیصری) است که در مجموع حدود ۱۱/۶ درصد مساحت استان را به خود اختصاص داده است. همچنین وجود ذخیره گاه زیست کره تنگ صیاد - سبزکوه و تالاب بین‌المللی چغاخور و تالاب‌های گندمان، علی‌آباد و سولقان از دیگر جاذبه‌های طبیعی این استان هستند.

اکولوژیکی مانند غارهای منحصربه‌فرد، چشمه‌ها و آبشارها، تپه‌ها و قلعه‌های تاریخی، تنوع اقوام و زیستگاه‌های متنوع این استان را به یکی از قطب‌های گردشگری کشور تبدیل کرده است. اراضی مرتعی با ۵۵ درصد پوشش غالب این استان را تشکیل می‌دهند. زمین‌های جنگلی و اراضی کشاورزی-باغی نیز پس از مراتع به ترتیب بیشترین درصد پوشش زمین را به خود اختصاص داده‌اند. این استان دارای ۸ منطقه چهارگانه تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست شامل یک اثر



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

Figure 1- Location of the study area

روانشناختی و جامعه‌شناختی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان و ارزش‌های غنی فرهنگی، دارایی‌های طبیعی و تاریخی منطقه مورد مطالعه و نظرات ۲۰ کارشناس متخصص، انتخاب شد. این شاخص‌ها با مزایا و ارزش‌های متغیرهای هدف مرتبط و برای منطقه مورد مطالعه قابل استفاده هستند. استانداردسازی شاخص‌های هر کدام از دسته‌ها با استفاده از توابع عضویت، ارزیابی عملکرد با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۵ (Alvarez-Codoceo *et al.*, 2021) و ادغام آنها

کمی‌سازی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان جمع‌آوری، شناسایی و پردازش اطلاعات

در پژوهش حاضر، خدمات فرهنگی تفریح، معنوی و مذهبی، زیبایی‌شناختی، الهام‌بخش، میراث، حس مکان و آموزشی ارزیابی و کمی‌سازی شده است. شاخص‌های هر کدام از این طبقات با توجه به مرور جامع ادبیات تحقیق، تبیین خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در چارچوب‌های ارزیابی بوم‌سازگان پیشرو (MEA¹، TEEB²، SEEA-EEA³، CICES⁴، در دسترس بودن داده‌ها، خدمات مرتبط با رفاه ذهنی، در نظر گرفتن ابعاد

¹⁵ The system of Environmental Economic Accounting (SEEA EA)

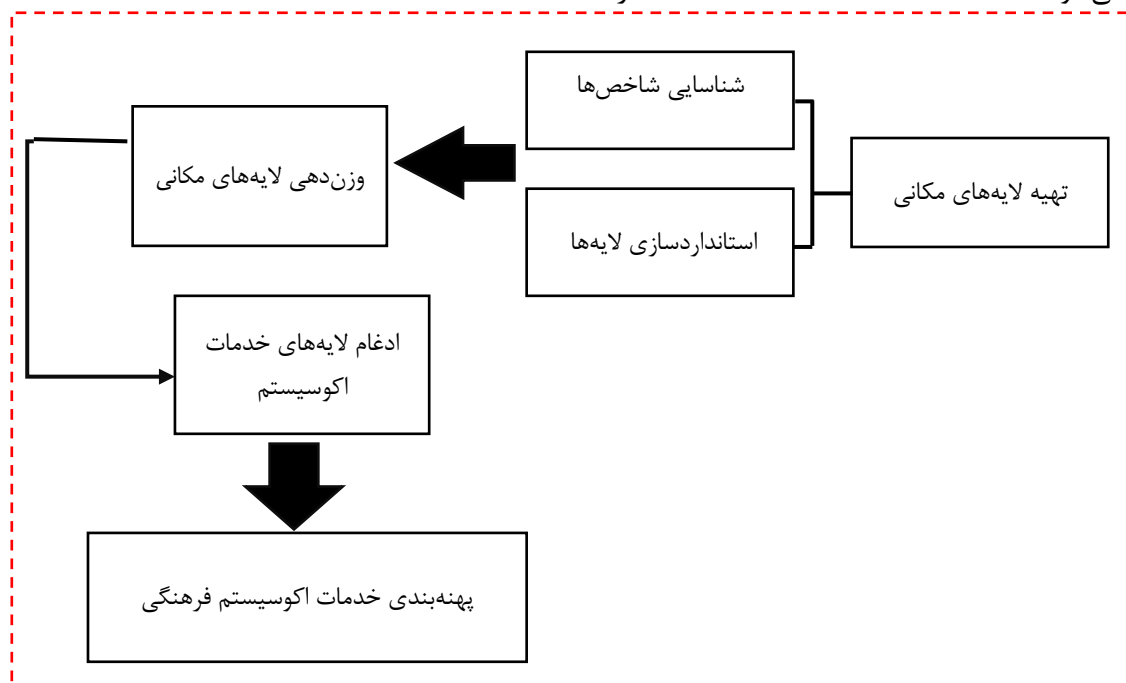
¹⁶ The Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)

¹³ Millennium Ecosystem Assessment (MEA)

¹⁴ The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)

نهایت با در نظر گرفتن میانگین نظرات وزن هر شاخص مشخص می‌شود. چارچوب مفهومی در شکل ۲ ارائه شده است.

با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی صورت گرفت. شاخص‌ها باید توسط افراد درگیر در مسئله ارزیابی و اولویت‌بندی شوند، که منجر به وزندهی متفاوتی به آن‌ها می‌شود (Alvarez-Codoceo *et al.*, 2021).



شکل ۲- نمودار مفهومی پژوهش

Figure 2- Research conceptual diagram

و با ایجاد زمینه ذهن پویا، خلاقیت را افزایش می‌دهند (Sen and Guchhait, 2021). براین اساس الهام‌بخشی را می‌توان از طریق آثار هنری و ادبی که با الهام از پدیده‌های طبیعی پدید آمده‌اند، کمی‌سازی کرد (Kabiri Hendi *et al.*, 2020). شاخص‌های این خدمت در جدول ۲ ارائه شده است.

کمی‌سازی خدمت آموزش

مناطق که به انسان‌ها در مورد اهمیت محیط‌زیست و حفظ آن تأکید دارند، دارای ارزش آموزشی هستند (Tajima *et al.*, 2023). بر این اساس مناطق چهارگانه تحت حمایت پایگاه داده سازمان محیط‌زیست ایران در استان به عنوان شاخص‌های این خدمت انتخاب شدند. همچنین امتیازدهی آنها با توجه به دسته‌بندی‌های مدیریتی اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) بود (Vallecillo *et al.*, 2019).

کمی‌سازی خدمت زیبایی‌شناختی

طبیعت بکر و عناصر طبیعی مانند رودخانه‌ها و جنگل‌ها منبع این سرویس بوم‌سازگانی هستند (Tajima *et al.*, 2023). این خدمت می‌تواند آگاهی مردم را نسبت به محیط‌زیست افزایش دهد و بنابراین برای قابل درک کردن ارزش سایر خدمات بوم‌سازگانی از نظر شناختی بسیار مهم است (Langemeyer *et al.*, 2018). خدمت زیبایی‌شناختی با استفاده از ۱۲ شاخص بصری و اکولوژیکی (ارتفاع، شیب، جهت، تیپ و تراکم پوشش گیاهی، ویژگی‌های زیستگاه، کاربری اراضی، قابلیت دید نقاط پرتنوع، قابلیت دید جاده‌ها، قابلیت مناطق مسکونی، قابلیت دید رودخانه، قابلیت دید پارک) بر اساس نظرات کارشناسان و بررسی ادبیات مدل‌سازی شد. در جدول ۱ جزئیات تهیه لایه‌ها آمده است.

کمی‌سازی خدمت الهام‌بخشی

سبک زندگی شهری پر از هیجان است؛ بنابراین بوم‌سازگان‌ها با طبیعت بکر خود میزان استرس را کاهش

جدول ۱- معیارهای مورد استفاده در ارزش زیبایی‌شناختی و روش تهیه آن‌ها

Table 1- The criteria used in the aesthetic value and the method of their preparation

روش تهیه	معیارها
سازمان زمین‌شناسی امریکا	ارتفاع
استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع	شیب
استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع	جهت
لایه تیپ پوشش گیاهی منطقه	تیپ پوشش گیاهی
لایه اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی با استفاده از دستور VEG Index	تراکم پوشش گیاهی
طبقه‌بندی لایه کاربری اراضی به شرح زیر: زیستگاه‌های انسانی=۱، زیستگاه‌های نیمه طبیعی=۳، زیستگاه‌های طبیعی=۵	ویژگی‌های زیستگاه
طبقه‌بندی لایه کاربری اراضی به شرح زیر: منطقه ساخته شده = ۱، کشاورزی = ۳، مراتع = ۵ و جنگل = ۷	کاربری اراضی
جداکردن قسمت‌های متنوع از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع، استفاده از الگوی NDC با فیلتر ۷ در ۷ و جدا کردن طبقه نهایی به عنوان متنوع‌ترین بخش، اجرای دستور Viewshed در محدوده ۳۰۰۰ متری آن در نرم افزار Idrisi	قابلیت دید نقاط پرتنوع
لایه رستری جاده و اجرای دستور Viewshed در محدوده ۲۰۰ متری	قابلیت دید جاده‌ها
استخراج لایه مناطق مسکونی از روی نقشه کاربری اراضی و اجرای دستور Viewshed در محدوده ۵۰۰ متری آن، تهیه نقشه فاصله از مناطق مسکونی با استفاده از دستور Distance و سپس ضرب دو نقشه دید و فاصله استخراج لایه رودخانه از روی لایه شبکه آبراهه‌های منطقه و اجرای دستور Viewshed در محدوده ۲۰۰ متری آن	قابلیت دید مناطق مسکونی
استخراج لایه رودخانه از روی لایه شبکه آبراهه‌های منطقه و اجرای دستور Viewshed در محدوده ۲۰۰ متری آن	قابلیت دید رودخانه
استخراج لایه پارک‌ها و اجرای دستور Viewshed در محدوده ۵۰۰ متری آن، تهیه نقشه فاصله از پارک‌ها با استفاده از دستور Distance و سپس ضرب دو نقشه دید و فاصله	قابلیت دید پارک

جدول ۲- معیارهای مورد استفاده در ارزش الهام‌بخشی و روش تهیه آن‌ها

Table 2- The criteria used in the aesthetic value and the method of their preparation

روش تهیه	معیارها
دستور Distance	فاصله از روستاها
اجرای دستور Viewshed در محدوده ۲۵۰ متری	قابلیت دید قله
اجرای دستور Viewshed در محدوده ۹۰۰ متری	قابلیت دید آبشار
دستور Buffer	چشمه
دستور Buffer	غار

کمی‌سازی خدمت تفریح

احتمالاً خدمات تفریحی بیشتری ارائه می‌دهند. در مقابل، جاده‌ها ممکن است خدمات تفریحی را به دلیل اثرات منفی محیط‌زیستی کاهش دهند.

$$RQX = \sum(2 * NSDX + DDMX + UPMX) \quad (1)$$

که در آن:

NSDX؛ تراکم فضاهای باز، DDM؛ نشان‌دهنده فاصله تا جاده‌ها و UPM نشان‌دهنده فاصله تا مناطق مسکونی است. تراکم فضاهای باز با استفاده از نقشه کاربری اراضی و لایه‌های فاصله از جاده و مناطق مسکونی با دستور بافر در نرم افزار GIS تهیه شدند.

این خدمت یکی از ارزشمندترین، حیاتی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در بوم‌سازگان‌های شهری هستند که باعث افزایش سلامت جسمی و روحی جمعیت شهری می‌شود (Mohammadyari et al., 2023). کمی‌سازی این خدمت بر اساس مدل ارزش تفریحی انجام شد (Sun et al., 2022). در این مدل ارزش تفریحی به تراکم فضاهای باز، فاصله تا جاده‌ها و فاصله تا مناطق مسکونی بستگی دارد (رابطه ۱). مناطق جنگلی و کمربندهای سبز به عنوان فضاهای باز در نظر گرفته شدند که

کمی‌سازی خدمت میراث

ویژگی‌های تاریخی، ارزش‌ها، باورها، سنت‌ها، جهان‌بینی‌ها، عملکردها و دارایی‌هایی طبیعی، میراث فرهنگی را شکل می‌دهند که نسل‌های کنونی و آینده را به تجربه تمایز فرهنگی یک منطقه می‌کشد (Havinga *et al.*, 2020; Strand *et al.*, 2023). ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره در منطقه مورد مطالعه به عنوان شاخص میراث طبیعی و آثار ثبت شده توسط سازمان میراث فرهنگی و گردشگری (موزه‌های مردم‌شناسی و قلعه‌های تاریخی) شاخص‌های میراث تاریخی بودند. برای تهیه این لایه‌ها از دستور Buffer استفاده شد.

کمی‌سازی خدمت معنوی و مذهبی

مناطق که دارای اهمیت معنوی و مذهبی هستند و تجربه معنوی را به انسان‌ها منتقل می‌کنند (Havinga *et al.*, 2020). شاخص‌های استفاده شده برای کمی‌سازی این خدمت مسجدها، مکان‌های زیارتی و درختان مقدس بود که دستور Buffer به ترتیب در اندازه‌های ۱۵۰ و ۸۰ متر برای تهیه آن‌ها اجرا شد.

کمی‌سازی خدمت حس مکان

احساس مکان اغلب با مولفه‌های عاطفی (عاطفه، احساس)، عناصر شناختی (افکار، دانسته‌ها، باورها) و اعمال (اعمال و رفتار) تعریف می‌شود که به‌عنوان یک مفهوم چتر متضمن هویت، وابستگی و دلبستگی مکان در نظر گرفته می‌شود (Wartmann and Purves, 2018). بر این اساس قابلیت دید روستاهای با جاذبه طبیعی، مناطق بکر و نزدیکی به مراکز درمانی و انتظامی

به عنوان شاخص‌های این خدمت انتخاب شدند. این شاخص‌ها به ترتیب با دستورهای Viewshed و Buffer کمی‌سازی شدند.

پهنه‌بندی خدمات بوم‌سازگان

باتوجه به مبادلات بین انواع خدمات بوم‌سازگان، مدیریت این خدمات بر اساس مناطق با بالاترین سطح خدمات کل بوم‌سازگان مطلوب‌تر از عرضه انفرادی هر خدمت است (Tavakoli and Mohammadyari, 2023). بدین منظور پهنه‌بندی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان به منظور نشان دادن مناطق دارای پتانسیل عرضه کل خدمات بوم‌سازگان با استفاده از جعبه‌ابزار $Getis-ord\ Gi^*$ انجام شد. با استفاده از آمار عمومی G می‌توان Hot spot (نقاط داغ) و Cold spot (نقاط سرد) منطقه مطالعه را تفکیک کرد.

این آنالیز بیان می‌کند که در چه موقعیتی عوارض با ارزش خوشه‌بندی مکانی بالا یا پایین وجود دارند که با p -value و z -score بیان می‌شود، این دو به ترتیب میزان احتمال تصادفی بودن و انحراف معیار را نشان می‌دهند. نواحی با z -score منفی و p -value کم از نظر آماری نقاط سرد و مکان‌هایی با z -score بالا و مقدار p -value کم از نظر آماری نقاط داغ را نشان می‌دهند (Tavakoli and Mohammadyari, 2023). آمار عمومی G از رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ بدست می‌آید. در این رابطه‌ها x_j ارزش عارضه j ، w_{ij} وزن مکانی بین عارضه i و j و n تعداد کل عوارض است، میزان Z -score برابر با میزان Gi^* است.

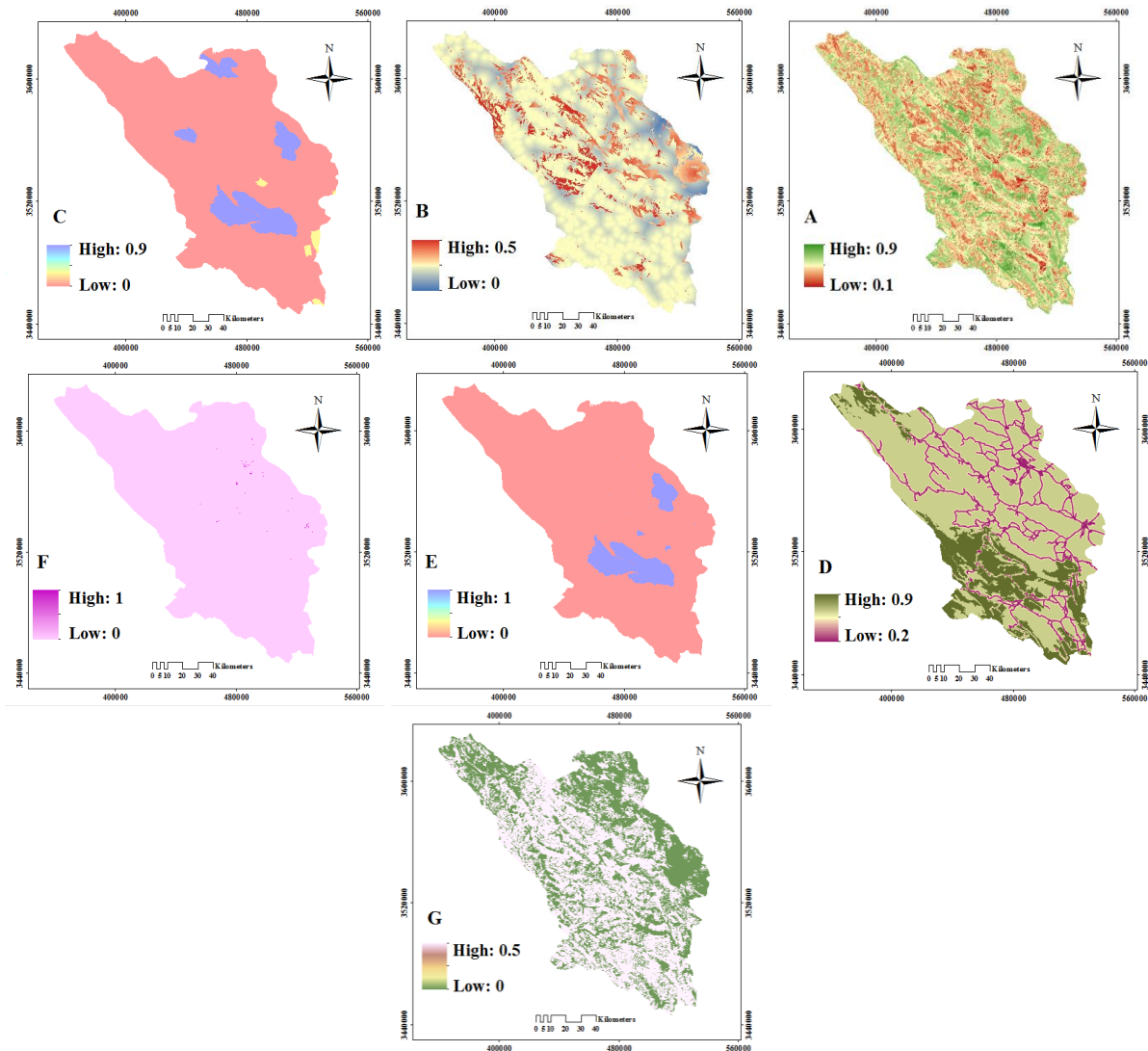
$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (4)$$

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (2)$$

نتایج

پس از اجرای دستورها و توابع موردنظر بر روی هر کدام از شاخص‌ها و ادغام آنها، لایه‌های مکانی هفت خدمت فرهنگی بوم‌سازگان به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳. لایه‌های کمی خدمات اکوسیستم فرهنگی (A: زیبایی‌شناختی؛ B: الهام‌بخش؛ C: آموزش؛ D: تفریح؛ E: میراث؛ F: معنوی و مذهبی؛ G: حس مکان)

Figure 3- Quantitative layers of CES (A; Aesthetics; B; Inspiration; C; Education; D; Recreation; E; Heritage; F; Spirituality and religion; G; Sense of place)

جدول ۳- وزن‌های خدمات اکوسیستم فرهنگی چندگانه

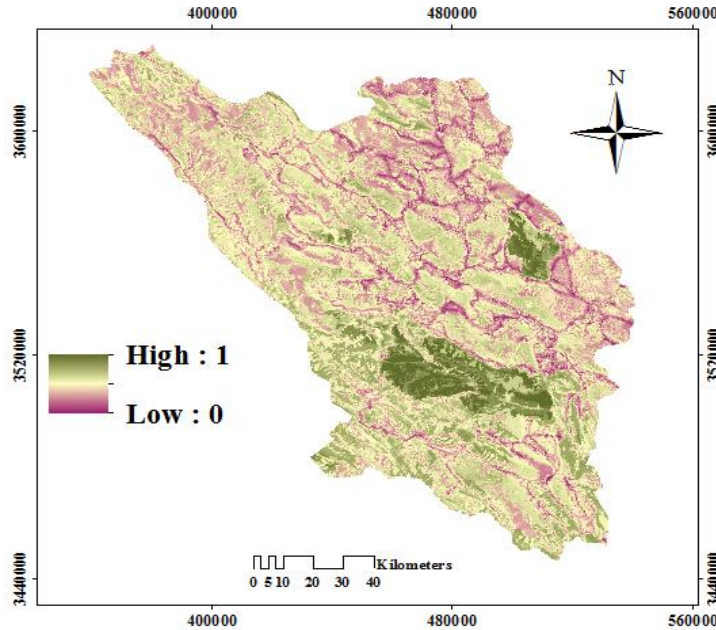
Table 3- Multicultural Ecosystem Service Weights

وزن	خدمات
0.1711	زیبایی‌شناختی
0.1374	الهام‌بخشی
0.1503	آموزش
0.159	تفریح
0.142	میراث
0.1143	معنوی و مذهبی
0.1259	حس مکان

اهمیت و اولویت‌بندی هر کدام از این خدمات توسط کارشناسان تعیین و به هر کدام از آنها وزنی اختصاص داده شد. وزن‌های نرمال شده با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، خدمت زیبایی‌شناختی بیشترین اهمیت و نقش را در بین سایر خدمات فرهنگی بوم‌سازگان دارد. همچنین خدمات تفریح و آموزش به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

چهارمحال و بختیاری در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل عدد ۱ نشان دهنده مناطق با ارزش بالای خدمات فرهنگی بوم‌سازگان است.

در ادامه لایه‌های مکانی هر کدام از خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در وزن اختصاص داده شده ضرب و همه لایه‌ها با هم تلفیق شدند. نقشه نهایی توزیع مکانی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در استان

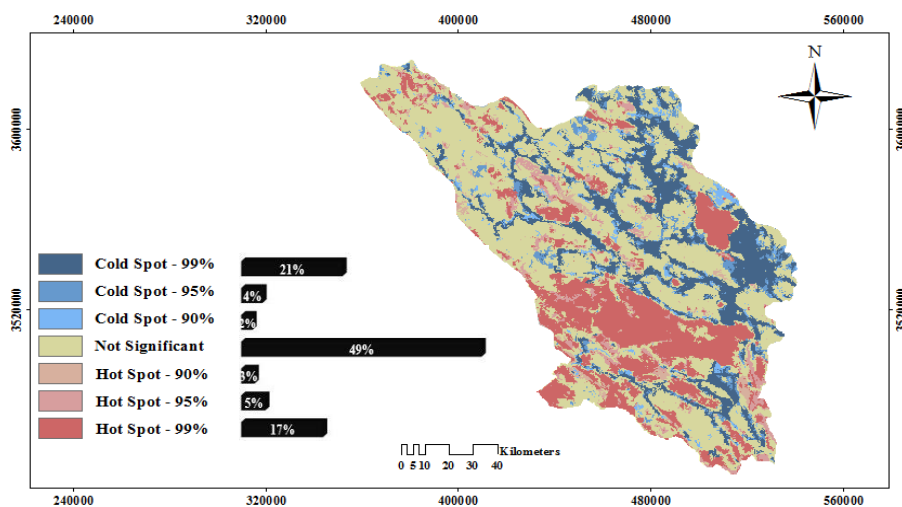


شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی خدمات اکوسیستم فرهنگی استان چهارمحال و بختیاری

Figure 4- Zoning map of CES of Chaharmahal and Bakhtiari province

این مکان‌ها به اولویت‌بندی و اقدامات حفاظتی در منطقه کمک شایانی می‌کند. به طور کلی حدود ۲۶ درصد از مساحت منطقه تحت پوشش نقاط داغ و ۲۷ درصد تحت پوشش نقاط سرد است.

پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی به منظور تحلیل بهتر تغییرات توزیع مکانی خدمات هفت‌گانه نقاط داغ و نقاط سرد در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد (شکل ۵). نقاط داغ و نقاط سرد به ترتیب بیشترین و کمترین ظرفیت خدمات فرهنگی بوم‌سازگان را دارند که شناخت



شکل ۵- توزیع فضایی نقاط داغ و نقاط سرد با سطح اطمینان متفاوت برای تامین خدمات اکوسیستم فرهنگی

Figure 5- Spatial distribution of hot and cold spots with different confidence levels for providing CES

بحث

و لکه‌هایی با توزیع پراکنده در قسمت‌های جنوب و شمال غرب مشاهده شد. همچنین بالاترین پتانسیل حس مکان که بیشتر از تصاویر طبیعی نشأت می‌گیرد در قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه جایی که روستاها و مکان‌های بکر وجود دارند، مشاهده شد. این یافته با مطالعه Kim و Son (۲۰۲۱) مطابقت دارد. بالاترین ارزش خدمت معنوی و مذهبی نیز در مکان‌های تجمع اماکن مقدس متمرکز شده است که با نتایج مطالعه Tajima و همکاران (۲۰۲۳) همسو است. نبود داده‌های اطلاعاتی مکان‌های مقدس برای قسمت‌هایی از استان از محدودیت‌های کمی‌سازی این خدمت بود. اگرچه اطلاعات مهمترین مکان‌ها و درختانی که برای ساکنان روستاهای استان مقدس است و اعتقادات خاصی به آنها دارند (درخت گلابی در باباحیدر، درخت بلوط در اردل، درخت چنار در آلیکوه، درخت نارون در طاقانک، درخت بلوط در شهرکرد و ارجنگ و درخت بادام در نافچ) با استفاده از منابع مختلف جمع‌آوری و وارد مدل شد. حفاظت از این مکان‌ها بخاطر اعتقادات ساکنان به عنوان یک عمل فرهنگی در دنیای مدرن ادامه دارد و بنابراین در طول نسل‌ها با دقت حفظ می‌شود. این امر اهمیت باورهای مذهبی، آداب و رسوم و سنت‌ها را در ارائه خدمات فرهنگی بوم‌سازگان تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که نوع خدمات فرهنگی بوم‌سازگان نه تنها تحت تأثیر ویژگی‌های بیوفیزیکی یک مکان، بلکه تحت تأثیر افرادی است که آنها را تجربه می‌کنند (Munoz et al., 2019; Tajima et al., 2023). با توجه به نتایج پهنه‌بندی و توزیع نقاط داغ، از جهت شمال به جنوب تدارک خدمات فرهنگی بوم‌سازگان افزایش می‌یابد و به حداکثر مقدار خود در قسمت میانی پایین می‌رسد. سپس در انتهای جنوب منطقه کاهش می‌یابد. همچنین در نوار شرقی- غربی بیشترین تدارک این خدمات به صورت لکه‌ای در شرق منطقه (محل پارک ملی و منطقه حفاظت شده تنگ‌صیاد) متمرکز شده است و در قسمت‌های میانی چندین تکه (تجمع تالاب‌ها) با پتانسیل بالای عرضه خدمات به صورت پراکنده توزیع شده‌اند. این الگوی خدمات به دلایل

در این مطالعه عملکرد انواع خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در استان چهارمحال و بختیاری که علی‌رغم ارتباط آن برای رفاه ساکنان شهری، به اندازه کافی در تحقیقات خدمات بوم‌سازگان کاوش نشده است، با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی شد. کارایی این روش‌ها برای اولویت‌بندی خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در مطالعات قبلی (Kabiri Hendi et al., 2020; Alvarez-Codoceo et al., 2021; Ahmadi Mirghaed et al., 2020) تایید شده است. در راستای مطالعات دیگر (Munoz et al., 2019; Kim and Son, 2021; Tajima et al., 2023) در این مطالعه نیز ارزش‌های زیبایی‌شناختی و تفریح، بیشترین اهمیت را در بین خدمات فرهنگی بوم‌سازگان به خود اختصاص دادند. این نتایج کاملاً منعکس‌کننده اهمیت کمی و معنایی این دو ارزش در بین انواع دیگر خدمات فرهنگی بوم‌سازگان است (Ebner et al., 2022)، که می‌توانند به عنوان انگیزه برای تجربه کردن سایر خدمات فرهنگی باشند. بر اساس نتایج، ارزش زیبایی‌شناختی در قسمت‌های جنوبی نسبت به سایر قسمت‌ها بالاتر است. اگرچه توزیع لکه‌ای مناطق با ارزش در منطقه ناهمگن است اما به طور کلی توزیع این خدمت بیشتر تحت تأثیر پوشش گیاهی طبیعی، شکل زمین و جاذبه‌های طبیعی مانند آبشارها قرار گرفته است که با نتایج Ahmadi Mirghaed و همکاران (۲۰۲۰) و Abdollahi و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. دسترسی به فرصت‌های تفریحی در این مطالعه در قسمت‌های شمال غرب و جنوب منطقه مشاهده شد که پوشش غالب این قسمت‌ها اراضی جنگلی است. در مطالعات قبلی (Suarez et al., 2020; Ma et al., 2021; Mohammadyari et al., 2023) نیز نقش بوم‌سازگان‌های جنگلی به عنوان مکان‌های با عرضه بالای خدمت تفریحی اشاره شده است. همچنین بیشترین عرضه خدمات آموزش و میراث نیز در مناطق حفاظت شده مشاهده شد که در تایید نتایج مطالعه Kabiri Hendi و همکاران (۲۰۲۰) است. مناطق با ارزش از نظر خدمت الهام‌بخشی در مرکز و قسمت‌هایی از شرق

بوم‌سازگان به شیوه‌ای پایدار باشد. به طور کلی این مطالعه با ارائه توزیع مکانی مناطق با پتانسیل بالای عرضه خدمات فرهنگی بوم‌سازگان، به مدیران و برنامه‌ریزان این امکان را می‌دهد که دامنه تصمیم‌گیری خود را به این مکان‌ها معطوف کنند و با صرفه‌جویی در زمان و هزینه باعث بهبود مدیریت کاربری اراضی و در نهایت ارائه ظرفیت بالای خدمات بوم‌سازگانی در استان شوند.

از طرف دیگر بیشتر مکان‌های با پتانسیل بالای خدمات مانند شمال‌شرق و بخش‌هایی از مرکز استان در جاهایی واقع شده‌اند که هیچ حفاظتی از آنها صورت نمی‌گیرد و از آنجایی که پوشش غالب این مکان‌ها اراضی جنگلی است، بقای آنها در آینده با تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی مؤثر بر دارایی‌های طبیعی در استان به خطر می‌افتد. لذا در تصمیم‌گیری‌های آمیختگی حفاظت از این مناطق با ظرفیت بالا برای ارائه خدمات بوم‌سازگان باید در اولویت قرار گیرد به طوری که تغییرات کاربری و گسترش شهری در آینده منجر به کاهش جریان‌های خدمات بوم‌سازگان در این مناطق نشود.

سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد ۱۴۱/۱۴۰۳/۳ از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهرکرد می‌باشد.

متفاوتی مانند شیب ارتفاعی که باعث تفاوت‌های اقلیمی مؤثر بر پوشش و نوع کاربری اراضی می‌شود و همچنین تجمع مناطق شهرنشینی است. بزرگترین هسته شهرنشینی در شمال‌شرق منطقه است که تدارک خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در پایین‌ترین سطح است. در مطالعات قبلی نیز تایید شده است که تغییرات اقلیمی (Martinez-Harms et al., 2017)، گسترش سریع زمین‌های ساختمانی، افزایش جمعیت و تغییر کاربری اراضی (Li et al., 2016; Sun and Li, 2017; Song and Deng, 2017; Tajima et al., 2023) باعث کاهش خدمات فرهنگی بوم‌سازگان به ویژه تفریح و زیبایی‌شناختی می‌شوند.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج به دست آمده، خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در استان چهارمحال و بختیاری می‌تواند نقش مهم و حائز اهمیت در جذب گردشگران و حفظ محیط‌زیست داشته باشد که به عنوان یک پایه مؤثر برای توسعه پایدار منطقه لازم است. برخی از مکان‌های تدارک خدمات فرهنگی بوم‌سازگان در مناطق تحت مدیریت قرار گرفته‌اند که می‌توان از ظرفیت این مناطق به منظور حفاظت از خدمات فرهنگی بوم‌سازگان استفاده کرد. بدین منظور ارائه فرصت‌های بیشتر برای کمپینگ به شیوه دوستدار محیط‌زیست و همچنین تحقیق و آموزش محیط‌زیستی در مناطق حفاظت شده می‌تواند مکمل اقدامات حفاظت و استفاده از خدمات فرهنگی

References

- Abdollahi, S., Ildoromi, A., Salmanmahini, A., & Fakheran, S. (2019). Determination and quantification of the landscape aesthetic value in central part of Isfahan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7, 31-42. <http://doi.org/10.29252/ijae.7.4.31> (In Persian)
- Abdollahi, S., Ildoromi, A., Salmanmahini, A., & Fakheran, S. (2020). Determination of homogenous areas for ecosystem services supply in the central part of Isfahan province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(1), 29-47.
- <http://doi.org/10.30495/girs.2020.672371> (In Persian)
- Ahmadi Mirghaed, F., Mohammadzadeh, M., Salmanmahini, A., & Mirkarimi, S.H. (2020). Assessing the interactions between landscape aesthetic quality and spatial indices in Gharasoo watershed, North of Iran. *International J. of Environmental Science and Technology*, 17, 231-242. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02342-2>
- Alvarez-Codoceo, S., Cerda, C., & Perez-Quezada, J.F. (2021). Mapping the

- provision of cultural ecosystem services in large cities: The case of the Andean piedmont in Santiago, Chile. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66, 127390. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127390>
- Cabana, D., Ryfield, F., Crowe, T.P., & Brannigan, J. (2020). Evaluating and communicating cultural ecosystem services. *Ecosystem Services*, 42, 101085. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101085>
- Caro, C., Marques, J.C., Cunha, P.P., & Teixeira, Z. (2020). Ecosystem services as a resilience descriptor in habitat risk assessment using the InVEST model. *Ecological Indicators*, 115, 106426. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106426>
- Cheng, X., Van Damme, S., Li, L., & Uyttenhove, P. (2019). Evaluation of cultural ecosystem services: a review of methods. *Ecosystem Services*, 37, 100925. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100925>
- Davis, N., Daams, M., van Hinsberg, A., & Sijtsma, F. (2016). How deep is your love – Of nature? A psychological and spatial analysis of the depth of feelings towards Dutch nature areas. *Applied Geography*, 77, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.012>
- Depietri, Y., Ghermandi, A., Campisi-Pinto, S., & Orenstein, D.E. (2021). Public participation GIS versus geolocated social media data to assess urban cultural ecosystem services: Instances of complementarity. *Ecosystem Services*, 50, 101277. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101277>
- Ebner, M., Schirpke, S., & Tappeiner, U. (2022). Combining multiple socio-cultural approaches – Deeper insights into cultural ecosystem services of mountain lakes? *Landscape and Urban Planning*, 228, 104549. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104549>
- Enssle, E., & Kabisch, N. (2020). Urban green spaces for the social interaction, health and well-being of older people— an integrated view of urban ecosystem services and socio-environmental justice. *Environmental science & policy*, 109, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.008>
- Galic, N., Salice, C.J., Birnir, B., Bruins, R.J.F., Ducrot, V., Jager, H.I., Kanarek, A., Pastorok, R., Rebarber, R., Thorbek, P., & Forbes, V.E. (2019). Predicting impacts of chemicals from organisms to ecosystem service delivery: A case study of insecticide impacts on a freshwater lake. *Science of the Total Environment*, 682, 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.187>
- Havinga, I., Bogaart, P. W., Hein, L., & Tuia, D. (2020). Defining and spatially modelling cultural ecosystem services using crowdsourced data. *Ecosystem Services*, 43, 101091. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101091>
- Jangi, H., Tavakolinia, J., Razavian, M. (2020). Assessment of sustainability and landscape aesthetic value (LAV) in urban green spaces. The case of Tehran, District 22. *Geographical Urban Planning Research*, 8(1), 213-236. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2020.294868.1211> (In Persian)
- Kabiri Hendi, M., Mirkarimi, H., & Salmanmahiny, A. (2020). Cultural ecosystem services assessment in Golestan Province. *Journal of Environment Sciences Studies*, 5 (2), 2560-2568. (In Persian)
- Kim, J., & Son, Y. (2021). Assessing and mapping cultural ecosystem services of an urban forest based on narratives from blog posts. *Ecological Indicators*, 129, 107983. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107983>
- Klain, S., Satterfield, T., & Chan, K.M. (2014). What matters and why? Ecosystem services and their bundled qualities. *Ecological economics*, 107, 310–320. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.09.003>
- Komossa, F., Wartmann, F.M., Kienast, F., & Verburg, P.H. (2020). Comparing outdoor recreation preferences in peri-urban landscapes using different data gathering methods. *Landscape and Urban Planning*, 199, 103796. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103796>
- Langemeyer, J., Calcagni, F., & Baró, F. (2018). Mapping the intangible: Using geolocated social media data to examine landscape

- aesthetics. *Land use policy*, 77, 542-552. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.05.049>
- Li, B., Chen, D., Wu, Sh., Zhou, Sh., Wang, T., & Chen, H. (2016). Spatio-temporal assessment of urbanization impacts on ecosystem services: Case study of Nanjing City, China. *Ecological Indicators*, 71, 416-427. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.017>
- Liu, Z., Huang, Q., & Yang, H. (2021). Supply-demand spatial patterns of park cultural services in megalopolis area of Shenzhen, China. *Ecological Indicators*, 121, 107066. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107066>
- Ma, S. H., Wang, L. J., Zhu, D., & Zhang, J. (2021). Spatiotemporal changes in ecosystem services in the conservation priorities of the southern hill and mountain belt, China. *Ecological Indicators*, 122, 107225. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107225>
- Martinez-Harms, M.J., Bryan, B.A., Figueroa, E., Pliscoff, P., Runting, R.K., & Wilson, K.A. (2017). Scenarios for land use and ecosystem services under global change. *Ecosystem Services*, 25, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.021>
- Meng, S., Huang, Q., Zhang, L., He, C., Inostroza, L., Bai, Y., & Yin, D. (2020). Matches and mismatches between the supply of and demand for cultural ecosystem services in rapidly urbanizing watersheds: A case study in the Guanting Reservoir basin, China. *Ecosystem Services*, 45, 101156. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101156>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2015. *Ecosystems and Human Well-being: current State and Trends*. Island Press. Washington DC.
- Mohammadyari, F., Pourkhabbaz, H., & Gholami Chaleshtari, SH. (2023). Modeling cultural ecosystem services (Case study: recreational ecosystem services in Behbahan County). *Environment Sciences*, 2(4), 189-202. <https://doi.org/10.48308/envs.2023.1346> (In Persian)
- Munoz, L., Hausner, V., Brown, G., Runge, C., & Fauchald, P. (2019). Identifying spatial overlap in the values of locals, domestic- and international tourists to protected areas. *Tourism Manage*, 71, 259-271. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.07.015>
- Pan, J., Ma, Y., Cai, S., Chen, Y., & Chen, Y. (2022). Distribution patterns of lake-wetland cultural ecosystem services in highland. *Environmental Development*, 44, 100754. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100754>
- Riechers, M., Barkmann, J., & Tschardtke, T. (2016). Perceptions of cultural ecosystem services from urban green. *Ecosystem Services*, 17, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.11.007>
- Ryfield, F., Cabana, D., Brannigan, J., & Crowe, T. (2019). Conceptualizing 'sense of place' in cultural ecosystem services: A framework for interdisciplinary research. *Ecosystem Services*, 36, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100907>
- Santana-Santana, S.B., Marrero-Rodríguez, N., García-Romero, L., Peña-Alonso, C., & Espino, E.P.C. (2022). Is disability a conditioning factor to perceive cultural ecosystem services? Assessing social perception in a coastal protected dunefield. *Ocean & Coastal Management*, 228, 106298. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106298>
- Sen, S., & Guchhait, S.K. (2021). Urban green space in India: Perception of cultural ecosystem services and psychology of situatedness and connectedness. *Ecological Indicators*, 123, 107338. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107338>
- Song, W., & Deng, X. (2017). Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China. *Science of the Total Environment*, 576, 705-719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.078>
- Spanou, E., Kenter, J.O., & Graziano, M. (2020). The effects of aquaculture and marine conservation on cultural ecosystem services: An integrated hedonic-eudaemonic approach. *Ecological Economics*, 176, 106757.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.10.6757>
- Strand, M., Rivers, N., & Snow, B. (2023). The complexity of evaluating, categorising and quantifying marine cultural heritage. *Marine Policy*, 148, 105449. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105449>
- Sun, X., & Li, F. (2017). Spatiotemporal assessment and trade-offs of multiple ecosystem services based on land use changes in Zengcheng, China. *Science of the Total Environment*, 609, 1569–1581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.221>
- Sun, X., Crittenden, J.C., Li, F., Lu, Z., & Dou, X. (2018). Urban expansion simulation and the spatio-temporal changes of ecosystem services, a case study in Atlanta Metropolitan area, USA. *Science of the Total Environment*, 622, 974–987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.062>
- Sun, Y., Liu, D., & Wang, P. (2022). Urban simulation incorporating coordination relationships of multiple ecosystem services. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103432. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103432>
- Tajima, Y., Hashimoto, S., Dasgupta, R., & Takahashi, Y. (2023). Spatial characterization of cultural ecosystem services in the Ishigaki Island of Japan: A comparison between residents and tourists. *Ecosystem Services*, 60, 101520. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101520>
- Tavakoli, M., & Mohammadyari, F. (2023). Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem services in Ilam dam watershed, Western Iran: Identification of areas for spatial planning. *Urban Ecosystems*, 26(2), 459-478. <https://doi.org/10.2788/6471>
- Vallecillo, S., La Notte, A., Zulian, G., Ferrini, S., & Maes, J. (2019). Ecosystem services accounts: Valuing the actual flow of nature-based recreation from ecosystems to people. *Ecological Modelling*, 392, 196–211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.09.023>
- Wang, Y., & Hayashi, K. (2023). Methodological development of cultural ecosystem services evaluation using location data. *Journal of Cleaner Production*, 10, 396, 136523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136523>
- Wartmann, F.M., & Purves, R.S. (2018). Investigating sense of place as a cultural ecosystem service in different landscapes through the lens of language. *Landscape and Urban Planning*, 175, 169-183. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.021>
- Wei, H., Liu, H., Xu, Z., Ren, J., Lu, N., Fan, W., Zhang, P., & Dong, X. (2018). Linking ecosystem services supply, social demand and human well-being in a typical mountain–oasis–desert area, Xinjiang, China. *Ecosystem Services*, 31, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.012>
- Wu, J., Jin, X., Wang, H., & Feng, Z. (2022). Evaluating the supply-demand balance of cultural ecosystem services with budget expectation in Shenzhen, China. *Ecological Indicators*, 142, 109165. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109165>
- Zhao, Y., You, W., Lin, X., & He, D. (2023). Assessing the supply and demand linkage of cultural ecosystem services in a typical county-level city with protected areas in China. *Ecological Indicators*, 147, 109992. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109992>
- Zhao, Q., Li, J., Liu, J., Cuan, Y., & Zhang, C. (2019). Integrating supply and demand in cultural ecosystem services assessment: a case study of Cuihua Mountain (China). *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 6065–6076. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3910-1>
- Zhang, L.B., Hao, C.Z., Song, Y., Wang, Y.Y., Zhang, W.T., Huang, Y.H., & Liang, T. (2022). Basic principles of gross ecosystem product (GEP) accounting. *Journal of Resources and Ecology*, 213(3), 501-510. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2022.03.014>
- Zhang, Z., Zhang, H., Feng, J., Wang, Y., & Liu, K. (2021). Evaluation of social values for ecosystem services in urban riverfront space based on the SolVES model: a case study of the fenghe river, xi'an, China. *Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2765. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052765>



Spatial variability of throughfall pattern in natural and afforested stands of the Zagros forests: A case study in Choqasabz forest park, Ilam

Esmail Allahinezhad¹, Mehdi Heydari^{1*}, Javad Mirzaei¹, Omid Fathizadeh²

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

2. Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ahar, University of Tabriz Ahar, Iran

* Corresponding author: m.heidari@ilam.ac.ir

(Received: 02 February 2024

Revised: 04 May 2024

Accepted: 09 July 2024)

Extended Abstract

Introduction: In forest ecosystems, throughfall, a pivotal component of the hydrological cycle, exhibits spatial variations that have received scant attention. The redistribution of rain beneath the forest canopy gives rise to distinct rainfall patterns, resulting in substantial spatial disparities across diverse forest ecosystems. Forests assume a pivotal role in the water balance of the Zagros ecosystem. However, the increasing trend of afforestation using both native and non-native species, particularly fast-growing ones, necessitates an assessment of its impact on rainfall and its components compared to natural stands. This assessment is crucial as it affects the water cycle significantly. The present study aims to estimate the spatial variability of throughfall in natural stands of Persian oak (*Quercus brantii*) and afforested areas with *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* in Zagros forests, with a specific focus on Chaghasbez Forest Park in Ilam county.

Materials and methods: This study was conducted in Chaghasbez Forest Park in Ilam Province, with the aim of measuring rain components, including throughfall and stemflow, in stands of Persian oak, *Pinus eldarica* (Eldar pine) and *Cupressus arizonica* (Silver cedar). Rainfall was measured using five rain gauges located in the open space (outside the canopy) adjacent to the studied stands. Throughfall was measured using 27 collectors in Persian oak stands underneath the canopy, and 36 collectors in each Eldar pine and Silver cedar stand. To minimise measurement errors in throughfall at the stands, after every five rain events, four of the collectors were randomly relocated under the crown of the stand. The remaining collectors were stationed at fixed points throughout the study period. This approach increased the number of samples and reduced the measurement error of throughfall. Geostatistical methods were employed to investigate the spatial patterns and distribution of rainfall, and statistical analyses were conducted using GS+ software (version 5.1.1).

Results and Discussion: The mean throughfall depths for oak, Eldar pine, and Silver cedar were calculated as 207.32 mm, 129.21 mm, and 152.47 mm, respectively. The results indicate that the throughfall percentage of oak is higher than that of Eldar pine and Silver cedar. The average leaf area index (LAI) and the percentage of canopy gap of the studied stands were 1.4 m²/m² (CV= 53%) and 43.85% for Persian oak stands, 1.04 m²/m² (CV= 88.78 %) and 57.04% (CV= 46.26%) for Eldar pine, and 1.2 m²/m² (CV= 80.78%) and 54.71% (CV= 52.47%) for Silver cedar. The spatial pattern analysis of throughfall using variogram analysis revealed that under the canopy of Persian oak (RSS= 0.021, C0= 0.001, and r²= 0.51) and Silver cedar (RSS= 0.0, C0= 0.125, and r²= 0.92), the distribution is anisotropic with a strong spatial structure. Conversely, under the canopy of Eldar pine, the distribution exhibited isotropic characteristics with an average spatial structure (RSS= 0.102, C0= 0.54, and r²= 0.66). The analysis identified the exponential, linear, and spherical variogram models as the most suitable for Persian oak, Eldar pine, and Silver cedar, respectively.

Conclusion: This study found that the spatial continuity range of throughfall was estimated to be 10.8 metres in eldar pine, 8 metres in silver cedar, and 2.4 metres in Persian oak. A review of the literature revealed that the type of forest, tree density, and biomass can affect the spatial change and correlation structure of throughfall. Consequently, it is imperative to take into account the distinct characteristics of the forest type when investigating the spatial patterns of throughfall and their ecological ramifications. Subsequent research, which involves a comparison of the spatial correlation structure of throughfall in evergreen and deciduous forests, is expected to provide a more precise understanding of this subject.

Keywords: Persian oak, Spatial pattern, Throughfall Spatial Distribution, Variogram, Zagros forests

Citation: Allahinezhad, E., Heydari, M., Mirzaei, J., & Fathizadeh, O. (2025). Spatial variability of throughfall pattern in natural and afforested stands of the Zagros forests: A case study in Choqasabz forest park, Ilam. *Integrated Watershed Management*, 4(4), 66-80. doi: 10.22034/iwm.2024.2021757.1128

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>).





تغییر الگوی مکانی تاج بارش توده‌های طبیعی و دست کاشت در جنگل‌های زاگرس (مطالعه

موردی: پارک جنگلی چغاسبز ایلام)

اسماعیل الهی‌نژاد^۱، مهدی حیدری^{۲*}، جواد میرزایی^۱، امید فتحی‌زاده^۲

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

۲- گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر، ایران

* نویسنده مسئول: m.heidari@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳

چکیده مبسوط

مقدمه: در اکوسیستم‌های جنگلی، تاج‌بارش به‌عنوان یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژیکی دارای تغییرات مکانی است که به آن کمتر توجه شده است. توزیع مجدد باران در زیر تاج‌پوشش جنگل باعث ایجاد الگوهای تاج‌بارش می‌شود که تغییرات مکانی زیادی را به همراه دارد و از این نظر بین اکوسیستم‌های جنگلی مختلف، تفاوت وجود دارد. جنگل‌ها تأثیر مهمی بر بیلان آبی ناحیه رویشی زاگرس دارد. از طرف دیگر، نظر به انجام جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیر بومی و ارجحیت بیشتر گونه‌های سریع‌الرشد به خصوص در سال‌های اخیر، لازم است اثر این جنگل‌کاری‌ها در مقایسه با توده‌های طبیعی بر باران و اجزای آن به‌عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر چرخه آب بررسی شود. هدف از این مطالعه، برآورد تغییرپذیری مکانی تاج‌بارش در توده طبیعی شاخه‌زاد بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) و جنگل‌کاری‌های کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) در ناحیه نیمه‌خشک زاگرس (پارک جنگلی چغاسبز، شهرستان ایلام) با استفاده از زمین‌آمار است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در پارک جنگلی چغاسبز در استان ایلام انجام شد. در این مطالعه، مقدار اجزای باران شامل تاج‌بارش و ساقاب در توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای اندازه‌گیری شدند. میزان بارندگی کل توسط پنج عدد جمع‌آوری کننده باران که در فضای باز (خارج از تاج‌پوشش) مجاور توده‌های مورد بررسی نصب شده بودند، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تاج‌بارش به‌وسیله ۲۷ عدد جمع‌آوری کننده در توده بلوط ایرانی و ۳۶ عدد جمع‌آوری کننده در هر کدام از توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای انجام شد. به‌منظور کاهش میزان خطا در اندازه‌گیری تاج‌بارش در سطح توده چهار عدد از جمع‌آوری کننده‌ها بعد از هر پنج رخداد باران، جابه‌جا و در موقعیت دیگر در زیر تاج‌پوشش توده به صورت تصادفی قرار داده شدند. سایر جمع‌آوری کننده‌ها در کل دوره مطالعه در نقاط ثابت قرار داشتند. با تغییر مکان برخی از باران‌سنج‌ها بعد از هر باراندگی، تعداد نمونه‌ها افزایش و خطای اندازه‌گیری تاج‌بارش تقلیل پیدا می‌کند. از روش زمین‌آمار برای بررسی الگوهای مکانی و چگونگی توزیع تاج‌بارش استفاده شد. آنالیزهای آماری در محیط نرم افزار GS+ (version 5.1.1) انجام گرفت.

نتایج و بحث: در طول دوره مطالعه، تعداد ۲۰ رخداد بارندگی اندازه‌گیری شد. مجموع و متوسط رخدادهای باران در طول دوره مطالعه به ترتیب ۲۵۸/۲ میلی‌متر و ۱۲/۹۱ میلی‌متر به دست آمد. میانگین عمق تاج‌بارش برای بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب ۲۰۷/۳۲، ۱۲۹/۲۱ و ۱۵۲/۴۷ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که درصد تاج‌بارش بلوط ایرانی، بیشتر از گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای است. میانگین شاخص سطح برگ (LAI) (درصد ضریب تغییرات) و درصد روشن تاج‌پوشش (درصد ضریب تغییرات) توده‌های مورد مطالعه به ترتیب برای توده بلوط ایرانی ۱/۴ مترمربع/مترمربع (۵۳ درصد) و ۴۳/۸۵ درصد (۴۶/۱۴ درصد)، کاج تهران ۱/۰۴ مترمربع/مترمربع (۸۸/۷۸ درصد) و ۵۷/۰۴ درصد (۴۶/۲۶ درصد) و توده سرو نقره‌ای ۱/۲ مترمربع/مترمربع (۸۰/۷۸ درصد) و ۵۴/۷۱ درصد (۵۲/۴۷ درصد) برآورد شد. تجزیه و تحلیل الگوی مکانی تاج‌بارش با استفاده از آنالیز واریوگرام نشان داد که تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش دو توده بلوط ایرانی ($RSS = 0/021$ ، $C_0 = 0/001$ و $T^2 = 0/51$) و سرو نقره‌ای ($RSS = 0/125$ ، $C_0 = 0/125$ و $T^2 = 0/92$) همسانگرد با ساختار مکانی قوی و در زیر تاج‌پوشش کاج تهران ($RSS = 0/102$ ، $C_0 = 0/54$ و $T^2 = 0/66$) ناهمسانگرد با ساختار مکانی متوسط است. مناسب‌ترین مدل واریوگرامی برازش داده شده برای توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب از نوع نمایی، خطی و کروی بود.

نتیجه‌گیری: بر این اساس، محدوده پیوستگی مکانی تاج‌بارش در توده کاج‌تهران ۱۰/۸ متر، سرو نقره‌ای ۸ متر و در توده بلوط ایرانی ۲/۴ متر برآورد شد. مرور منابع نشان می‌دهد که نوع جنگل، تراکم درختان و زیست‌توده می‌تواند بر تغییر مکانی و ساختار همبستگی تاج‌بارش تأثیر بگذارد؛ بنابراین، در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص نوع جنگل هنگام مطالعه الگوهای مکانی تاج‌بارش و پیامدهای اکولوژیکی آنها مهم است. تحقیقات بیشتر برای مقایسه ساختار همبستگی مکانی تاج‌بارش در جنگل‌های همیشه‌سبز و خزان‌کننده، بینش قطعی‌تری را در مورد این موضوع ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، توزیع مکانی تاج‌بارش، واریوگرام، جنگل‌های زاگرس

استناد: الهی‌نژاد، الف، حیدری، م، میرزایی، ج؛ و فتحی‌زاد، الف. (۱۴۰۳). تغییر الگوی مکانی تاج‌بارش توده‌های طبیعی و دست کاشت در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی چغاسبز ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۸۰-۶۶.

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

(2008). در چندین مطالعه نشان داده شده است که شرایط آب و هوایی از جمله مقدار باران، شدت و طول دوره بارندگی بر ناهمگنی مکانی تاج بارش اثر می‌گذارد (Llorens et al., 1997; Levia & Frost, 2006). ولی ساختار و معماری پایدار تاج پوشش در طولانی‌مدت، به عنوان مهمترین عامل کنترل‌کننده تغییرپذیری مکانی تاج پوشش پذیرفته شده است (Herwitz & Slye, 1992; Wullaert et al., 2009; Nanko et al., 2011; Dezhban et al., 2023). از طرف دیگر، نظر به انجام جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیربومی و ارجحیت بیشتر گونه‌های سریع‌الرشد به خصوص در سال‌های اخیر در زاگرس، لازم است اثر این جنگلکاری‌ها در مقایسه با توده‌های طبیعی بر باران و اجزای آن از جمله تاج بارش به‌عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر چرخه آب بررسی شود. همچنین آگاهی از مقدار اجزای بارش و توزیع مکانی آنها در زیر تاج پوشش، در مدیریت منابع آب و افزایش بازده هیدرولوژیک جنگلکاری‌ها برای انتخاب گونه مناسب، ضروری است (Sadeghi & Attarod, 2017).

این تحقیقات با تجمیع داده‌های داخلی و خارجی، به توسعه دانش در زمینه تغییرات مکانی تاج بارش و پایداری الگوهای آن کمک کرده و اساسی برای برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی و حفاظت از محیط زیست می‌باشند و تحقیقات در مورد تغییرات مکانی تاج بارش و پایداری الگوهای آن در مقیاس کوچک (تک درخت) اهمیت بالایی دارند. در ادامه به تعدادی از تحقیقات داخلی و خارجی در این زمینه اشاره می‌شود. Fathizadeh و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تغییرات مکانی تاج بارش و الگوهای آن در یک ناحیه رویشی خاص از زاگرس پرداخته است. نتایج این تحقیق به تبیین الگوهای مختلف رشد و تحول درختان و تأثیرات آن بر محیط‌زیست کمک می‌کند. Fathizadeh و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی پایداری الگوهای تاج بارش در مقیاس کوچک پرداختند. نتایج آن نشان می‌دهند که الگوهای آبیاری و تغذیه درختان چگونه می‌توانند باعث پایداری طولانی‌مدت آنها شوند و در مطالعه‌ای

تغییرات الگوی مکانی تاج بارش در جنگل‌ها موضوعی مورد توجه زیست‌شناسان و محیط‌زیست‌دان‌هاست. با توجه به تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، الگوی مکانی تاج بارش در جنگل‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش دما، تغییرات در نظام بارندگی، و تخریب جنگل‌ها به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر در تغییرات الگوی مکانی تاج بارش در جنگل‌ها هستند (Zhang et al., 2017; Zhao et al., 2023; Rostami et al., 2022). این تغییرات می‌توانند تأثیرات گسترده‌ای بر روی تنوع زیستی، فرآیندهای اکولوژیکی، و سلامت جنگل‌ها داشته باشند. برای مدیریت بهینه جنگل‌ها و حفظ تاج بارش، لازم است توجه ویژه‌ای به این تغییرات و اثرات آن‌ها داشته باشیم (Pan et al., 2011; Chazdon et al., 2016). توزیع مجدد باران در زیر تاج پوشش جنگل باعث ایجاد الگوهای تاج بارش می‌شود که تغییرات مکانی زیادی را به همراه دارد (Fathizadeh et al., 2021) و از این نظر بین اکوسیستم‌های جنگلی مختلف، تفاوت وجود دارد (Lloyd & Marques, 1988). الگوهای مکانی تاج بارش تأثیراتی در برهمکنش مواد غذایی خاک و گیاه، پراکنش درختان (John et al., 2007)، مدل‌سازی جریان آب و یون‌ها در جنگل دارد و آب باران و مواد محلول موجود در تاج بارش بر پوشش گیاهی، رطوبت خاک، واکنش شیمیایی مواد محلول خاک اثر دارد (Levia & Forest, 2006) و به همین دلیل، برای مطالعات اکوهیدرولوژی دارای اهمیت می‌باشد. برای درک کامل فرآیندهای توزیع باران و نیز تعیین دقیق جریان‌های هیدرولوژی سطح جنگل که دارای تغییرات مکانی و زمانی می‌باشد، تفکیک‌پذیری مکانی و زمانی تاج بارش در جنگل‌های طبیعی و جنگل‌کاری‌ها امری ضروری است. با توجه به اینکه مسیر عبور مواد غذایی محلول به جنگل، تاج بارش می‌باشد می‌توان با تعیین الگوهای مکانی تاج بارش، فرآیندهای موجود در خاک و کف جنگل را کنترل کرد (Zimmermann et al.,)

نقشه الگوهای فضایی تاج بارش در این توده‌های جنگلی ارزیابی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محل مطالعه: پارک جنگلی چغاسبز، استان ایلام (شکل ۱). آب‌وهوای منطقه معتدل کوهستانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد است. متوسط بارندگی سالانه ۵۸۸/۱۴ میلی متر بوده که کمترین میزان آن ۰/۱ میلی متر (تیرماه) و بیشترین میزان آن ۱۱۰/۹۵ میلی متر (بهمن‌ماه) است. متوسط دمای سالانه ۱۶/۹ درجه سانتیگراد است. دما در گرم‌ترین ماه (مردادماه) ۲۹/۷ درجه سانتیگراد و در سردترین ماه (بهمن‌ماه) ۵/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. این مطالعه در توده طبیعی شاخه‌زاد بلوط ایرانی و دو توده دست کاشت کاج تهران و سرو نقره‌ای ۳۰ ساله انجام شد (جدول ۱). فاصله کاشت در توده کاج تهران ۳-۴ متر و در توده سرو نقره‌ای ۴-۶ متر می‌باشد. مشخصات توده‌های مورد مطالعه شامل تعداد پایه‌ها، قطر برابر سینه، ارتفاع کل درخت، ارتفاع تاج درخت، مساحت تاج و حجم تاج درختان در قطعات نمونه ۴۰۰ مترمربعی اندازه‌گیری شد. درصد پوشش کف (لاشبرگ و پوشش علفی) برای سه توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب ۶۰، ۹۰ و ۵۰ درصد به دست آمد.

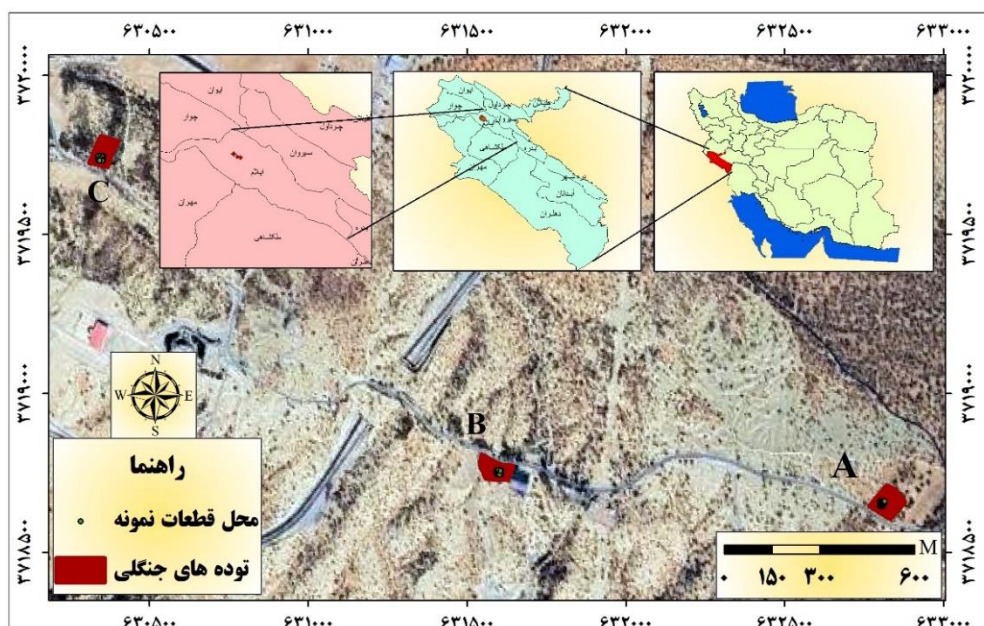
دیگر Fathizadeh و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر الگوهای تاج بارش در نواحی روستایی زاگرس پرداختند. نتایج این تحقیقات به درک بهتر از تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر مکانیسم‌های رشد درختان و برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت آنها کمک می‌کند. در یک مطالعه توسط Hu و همکاران (۲۰۲۴)، اهمیت ساختار توده جنگلی بر تاج بارش و ساقاب توده‌های طبیعی و دست کاشت را بررسی کردند. نتایج نشان داد که توده‌های جنگلی پهن‌برگ به‌طور قابل توجهی نسبت به توده‌های سوزنی‌برگ دارای نرخ ساقاب بالاتری بودند. همچنین ساختار توده تأثیر اندکی بر تاج بارش داشت اما به‌طور قابل توجهی ساقاب را تحت تأثیر قرار داد. این مطالعات نه تنها به درک عوامل مؤثر بر تاج بارش کمک کردند، بلکه نقشه‌برداری دقیق‌تری از تغییرات الگویی آنها در طول زمان نیز ارائه دادند. اما در مقیاس بزرگ‌تر (در سطح توده) در ارتباط با توزیع مکانی تاج بارش و تخمین الگوها به‌ویژه در توده‌های شاخه‌زاد بلوط ایرانی، مطالعه‌ای انجام نشده است.

باتوجه به اهمیت درک توزیع فضایی تاج بارش در مدیریت منابع آب و جنگل، این تحقیق به بررسی تغییرات ساختار و همبستگی فضایی تاج بارش در زیر دو توده جنگل‌کاری شده (کاج تهران و سرو نقره‌ای) و یک توده طبیعی بلوط ایرانی می‌پردازد. همچنین، کارایی استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ برای تهیه

جدول ۱- میانگین (± انحراف معیار) خصوصیات توده‌های مورد مطالعه در پارک جنگلی چغاسبز ایلام

Table 1- Mean (± standard deviation) morphological characteristics of the studied stands in Choghasabz Forest Park, Ilam

گونه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع کل (متر)	ارتفاع تاج (متر)	مساحت تاج (مترمربع)	حجم تاج (مترمکعب)	تراکم (تعداد جست بلوط در قطعه نمونه 400 مترمربعی)
بلوط ایرانی <i>Quercus brantii</i>	1470	17.93(±1.5)	8.4(±1.4)	5.93(±1)	21.82(±5.9)	128.3(±50.9)	22
کاج تهران <i>Pinus eldarica</i>	1450	19.6(±2.2)	11.53(±1.3)	10.27(±1.1)	10.14(±2.8)	106.1(±40.6)	35
سرو نقره‌ای <i>Cupressus arizonica</i>	1360	19.37(±3)	9.73(±1.7)	9.1(±1.5)	12.94(±3.2)	118.2(±45.6)	18



شکل ۱- موقعیت توده‌های مورد مطالعه (A: بلوط ایرانی، B: کاج تهران و C: سرو نقره‌ای) در جنگل‌های زاگرس،

شهرستان ایلام

Figure 1- Locations of studied stands (A: *Quercus brantii*, B: *Pinus eldarica* and C: *Cupressus arizonica*) in Zagros forests, Ilam county

روش تحقیق

۲۰۱۴). چهار عدد از جمع‌آوری کننده‌ها بعد از هر پنج رخداد باران (Lloyd & Marques, 1988)، جابه‌جا و در موقعیت دیگر در زیر تاج‌پوشش توده به صورت تصادفی قرار داده شدند. سایر جمع‌آوری کننده‌ها در کل دوره مطالعه در نقاط ثابت قرار داشتند. با تغییر مکان برخی از باران‌سنگ‌ها بعد از هر بارندگی، تعداد نمونه‌ها افزایش و خطای اندازه‌گیری تاج‌بارش تقلیل پیدا نمود (Ford & Deans, 1978; Roy et al., 2021). محاسبه حجم تاج‌بارش هر بارندگی همزمان با اندازه‌گیری بارندگی و به روش یکسان با آن صورت گرفت. در مورد بارندگی‌های شبانه، اندازه‌گیری‌ها در روز بعد و قبل از طلوع خورشید انجام شد. بازه زمانی ۴ تا ۵ ساعت بدون بارش برای تفکیک رخداد باران‌ها از هم، با این فرض که در این مدت تاج‌پوشش می‌تواند کاملاً خشک شود، مدنظر قرار گرفت (Fathizadeh et al., 2014). اگر بارندگی در کمتر از فاصله زمانی ذکر شده رخ دهد مجموع بارندگی‌ها در این مدت معادل یک باران در نظر گرفته شد (Gomez et al., 2002). در سال‌های مطالعه از دوربین مجهز به لنز عدسی چشم‌ماهی و در شرایط ابری (Staelens et al., 2008)

در این مطالعه، مقدار اجزای باران شامل تاج بارش و ساقاب در توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای برای بازه زمانی مطالعه یعنی مهرماه ۱۳۹۷ تا بهمن‌ماه ۱۳۹۸ اندازه‌گیری شدند. از پنج عدد جمع‌آوری کننده استوانه‌ای شکل از جنس پلاستیک با قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر و ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر در فضای باز مجاور هر کدام از توده‌های مورد مطالعه برای اندازه‌گیری مقدار باران استفاده شد. محل قرارگیری جمع‌آوری کننده‌ها طوری انتخاب شد که با تاج درختان (فضای باز مجاور توده‌ها) تداخلی نداشته باشند. بعد از هر رخداد باران، آب و بقایای لاشبرگ درون جمع‌آوری کننده‌ها خارج و مجدداً در محل خود قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری تاج‌بارش در توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب از ۲۷، ۴۰ و ۴۰ عدد جمع‌آوری کننده استفاده شد که برای اندازه‌گیری تاج‌بارش به صورت تصادفی زیر تاج‌پوشش قرار داده شدند. به‌منظور کاهش میزان خطا در اندازه‌گیری تاج‌بارش در سطح توده (Ford & Deans, 1978; Gomez et al., 2002, Fathizadeh et al.,

(C+C₀) و اثر قطعه‌ای (C₀) است. هر چه دامنه تأثیر بزرگتر باشد، بیانگر ساختار فضایی گسترده‌تر است. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌شود که توسط داده‌های آن مقدار متغیر ناحیه‌ای نقطه مجهول را تخمین می‌زند. ابتدا واریوگرام در جهت‌های مختلف رسم می‌شود، سپس واریوگرام‌های مربوط به جهت‌های مختلف برای تشخیص ناهمسانگردی، مقایسه می‌شوند. به طور کلی اگر سقف واریوگرام و دامنه تأثیر در همه جهت‌ها یکسان باشد، واریوگرام همسانگرد (Webster & Oliver, 2007) است. معیار ارزیابی پیوستگی مکانی، نسبت $C/(C+C_0)$ است. اگر $C/(C+C_0)$ کمتر از ۲۵ درصد باشد، ساختار مکانی ضعیف، بین ۲۵-۷۵ درصد ساختار مکانی متوسط و نسبت بیش از ۷۵ درصد، دارای ساختار مکانی قوی است (Vieira et al., 2010). از واریوگرام سطحی برای بررسی جهت ناهمسانگردی (تغییرات همبستگی مکانی با جهت) استفاده شد (Webster & Oliver, 2007). پس به منظور پیش‌بینی تاج‌بارش در نقاط فاقد نمونه‌برداری با توجه به ساختار مکانی متغیر و نبود روند در داده‌ها از روش کریجینگ معمولی استفاده شد (Webster & Oliver, 2007). از روش واسنجی متقابل برای اطمینان از صحت پیش‌بینی مدل استفاده شد.

نتایج

توزیع بارندگی، تاج‌بارش و متغیرهای ساختاری در طول دوره مطالعه (از مهرماه ۱۳۹۷ تا اواخر بهمن‌ماه ۱۳۹۸)، تعداد ۲۰ رخداد بارندگی اندازه‌گیری شد. مجموع و متوسط رخدادهای باران در طول دوره مطالعه به ترتیب ۲۵۸/۲ میلی‌متر و ۱۲/۹۱ میلی‌متر به دست آمد (جدول ۲). بیشترین میزان بارندگی در دی‌ماه و ۳۳/۸ میلی‌متر و کمترین میزان بارندگی در بهمن‌ماه ۰/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. میانگین مقدار تاج‌بارش به ترتیب برای بلوط ایرانی ۲۰۷/۳۲ میلی‌متر (۲۹٪/۸۰٪ از بارندگی)، کاج تهران ۱۲۹/۲۱ میلی‌متر (۵۰٪ از بارندگی) و سرو نقره‌ای ۱۵۲/۴۷ میلی‌متر (۵۹٪/۰۵٪ از بارندگی) محاسبه شد.

و با کمک نرم‌افزار GLA version 2.0 جهت تجزیه و تحلیل تصاویر دیجیتالی شده برای محاسبه میانگین شاخص سطح برگ توده‌ها استفاده شد. به منظور ارزیابی توزیع مکانی تاج‌بارش، نقاط ثبت تاج‌بارش به صورت تصادفی در زیراشکوب توده‌ها توزیع شدند، به طوری که تمام سطح قطعه نمونه به صورت یکنواخت قرار گیرند.

الگوی تغییرات مکانی تاج‌بارش (TF)

در این مطالعه از روش زمین‌آمار برای بررسی الگوهای مکانی و چگونگی توزیع تاج‌بارش استفاده شد. آنالیزهای آماری (ترسیم واریوگرام، درونیابی و رسم نقشه) در محیط نرم‌افزار GS+ (version 5.1.1) انجام گرفت. برای نمایش پیوستگی مکانی تاج‌بارش براساس واریانس داده‌ها از واریوگرام تجربی استفاده شد (Keim et al., 2005). در این مطالعه، با استفاده از رابطه ۱ واریوگرام تجربی محاسبه شد (David, 1970):

$$\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2 \quad (1)$$

$\hat{\gamma}(h)$ مقدار واریوگرام برای تعداد N جفت نمونه می‌باشد که با فاصله h (گام یا Lag) از یکدیگر جدا شده‌اند. $z(x_i)$ و $z(x_i + h)$ نیز مقادیر ناحیه‌ای (تاج‌بارش) در نقاط i و i+h هستند (Lark, 2000). همچنین برای تولید نقشه تغییرات مکانی تاج‌بارش با کریجینگ، از رویدادهای تاج‌بارشی که درصد خطای کمتر از ۳۰ درصد (RMSE% < 30) داشتند (Fathizadeh et al., 2014) استفاده شد.

قبل از محاسبه واریوگرام تجربی، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از نمودار هیستوگرام و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. برای بررسی وجود روند در ساختار مکانی داده‌ها از برازش واریوگرام استفاده شد. بدین صورت که رسیدن واریوگرام به سقف مشخصی، نشانه وجود روند در داده‌ها می‌باشد (Webster & Oliver, 2007). مدل نظری مناسب از بین مدل‌های سقف‌دار واریوگرام و با خطای پایین‌تر، بعد از غربالگری داده‌ها انتخاب شد. درجه پیوستگی مکانی را شکل مدل واریوگرام توصیف می‌کند. پارامترهای مدل شامل دامنه تأثیر (A₀)، سقف

ایرانی مدل نمایی، کاج تهران مدل خطی و سرو نقره‌ای مدل کروی بهترین مدل‌های برازش داده شده برای واریوگرام‌های تجربی تاج‌بارش بودند (جدول ۳). دامنه تأثیر واریوگرام در توده کاج تهران (۱۰/۸ متر) بیشتر از دو توده دیگر بلوط ایرانی (۲/۴ متر) و سرو نقره‌ای (۸ متر) مشاهده شد (جدول ۳). با ترسیم واریوگرام‌های سطحی در هر سه توده (شکل ۲) و بررسی واریوگرام‌ها در جهت‌های مختلف، دو توده بلوط ایرانی و سرو نقره‌ای واریوگرام همسانگرد و کاج تهران دارای واریوگرام ناهمسانگرد بود (شکل ۳). اعتبارسنجی مدل درون‌یابی کریجینگ برای هر سه توده و تمام ۲۰ رویداد بارندگی در طول دوره مطالعه انجام و میزان MAE و RMAE% برای همه رخدادهای تاج‌بارش محاسبه شد (جدول ۴). نقشه‌های درون‌یابی شده کریجینگ در سه توده، پیوستگی مکانی بیشتر تاج‌بارش را به ترتیب در توده کاج تهران، سرو نقره‌ای و بلوط ایرانی نشان می‌دهد (شکل ۴).

میانگین شاخص سطح برگ (LAI) و درصد روشنه تاج‌پوشش (درصد ضریب تغییرات) توده‌های مورد مطالعه به ترتیب برای توده بلوط ایرانی ۱/۴ مترمربع/مترمربع (۵۳ درصد) و ۴۳/۸۵ درصد (۴۶/۱۴ درصد)، کاج تهران ۱/۰۴ مترمربع/مترمربع (۸۸/۷۸ درصد) و ۵۷/۰۴ درصد (۴۶/۲۶ درصد) و توده سرو نقره‌ای ۱/۲ مترمربع/مترمربع (۸۰/۷۸ درصد) و ۵۴/۷۱ درصد (۵۲/۴۷ درصد) برآورد شد. همچنین در فصل خزان برای بلوط ایرانی شاخص سطح چوب ۰/۳۱ مترمربع/مترمربع (۶۵ درصد) و درصد روشنه تاج‌پوشش (درصد ضریب تغییرات) ۷۸/۸۴ درصد (۱۲/۳۷ درصد) محاسبه شد.

الگوهای مکانی تاج‌بارش

تجزیه و تحلیل الگوی مکانی تاج‌بارش با ترسیم واریوگرام، وجود ساختار مکانی تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش هر سه توده را در طی دوره مطالعه نشان داد (جدول ۳). با توجه به زیاد بودن مقدار R^2 و کم بودن مقادیر RSS در مدل‌های مورد بررسی، برای بلوط

جدول ۲- خصوصیات تاج‌بارش در سه توده: بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای در طول دوره مطالعه.

Table 2- The throughfall characteristics for three studied stands: *Quercus brantii*, *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* during the study period

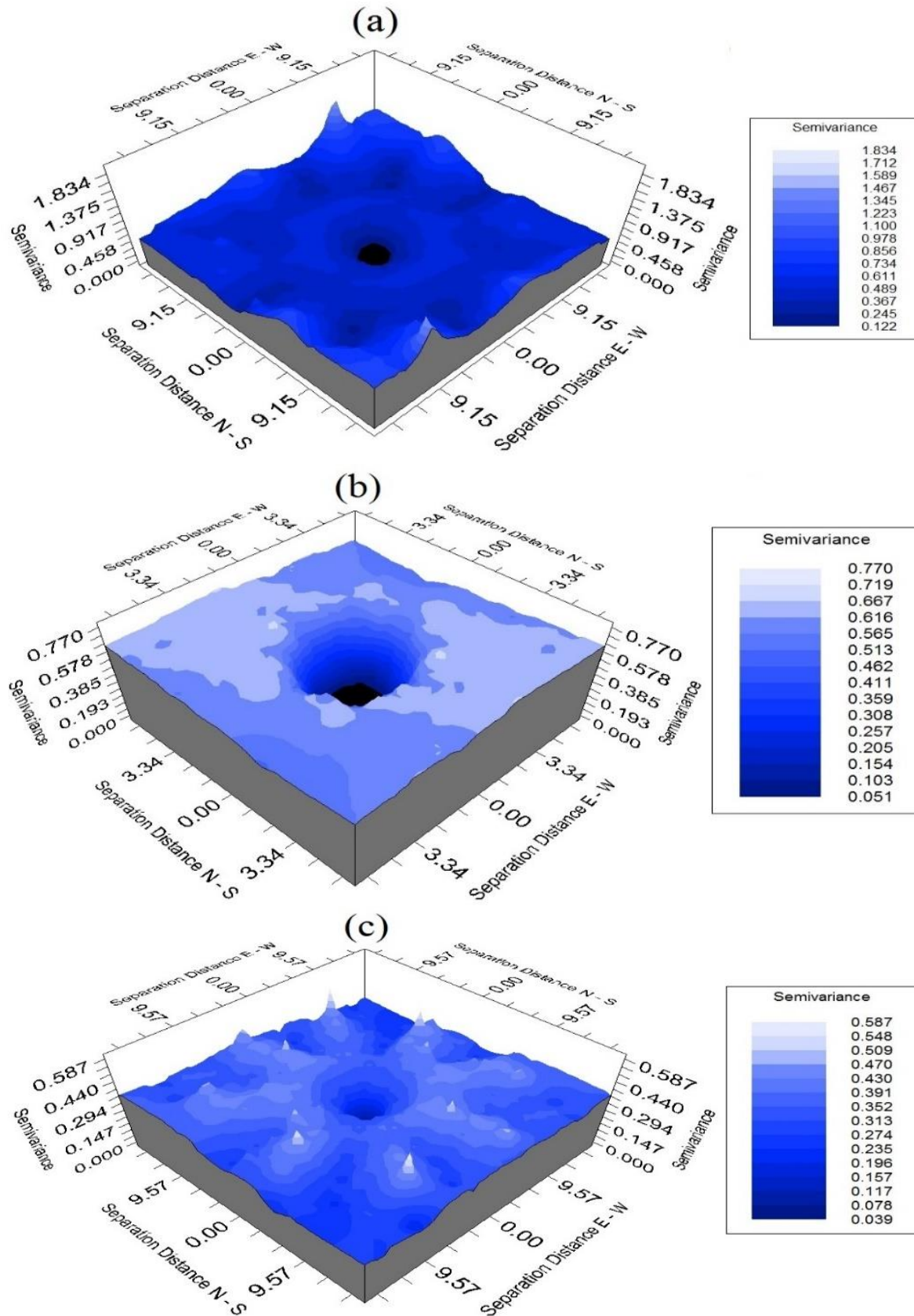
گونه‌ها	عمق تجمعی تاج‌بارش (میلی متر)	میانگین (میلی متر)	انحراف معیار (میلی متر)	درصد از بارندگی
بلوط ایرانی (<i>Quercus brantii</i>)	207.32	10.37	2.46	80.29
کاج تهران (<i>Pinus eldarica</i>)	129.21	6.46	0.97	50.04
سرو نقره‌ای (<i>Cupressus arizonica</i>)	152.47	7.60	0.98	59.05

جدول ۳- پارامترهای واریوگرام الگوی مکانی تاج‌بارش در طی دوره مطالعه در سه توده مورد مطالعه. RSS: مجموع باقیمانده مربع‌ها که معیاری از برازش مدل با داده‌های واریوگرام را ارائه می‌دهد، A0: دامنه، C0: اثر قطعه‌ای و سقف (C0 + C).

Table 3- Characteristics of the variogram models for spatial pattern of throughfall in three studied stands. RSS: Residual Sums of Squares that provide a measure of how well the model fitted the variogram data; A0: range parameter, C0: nugget effect, and sill (C0 + C).

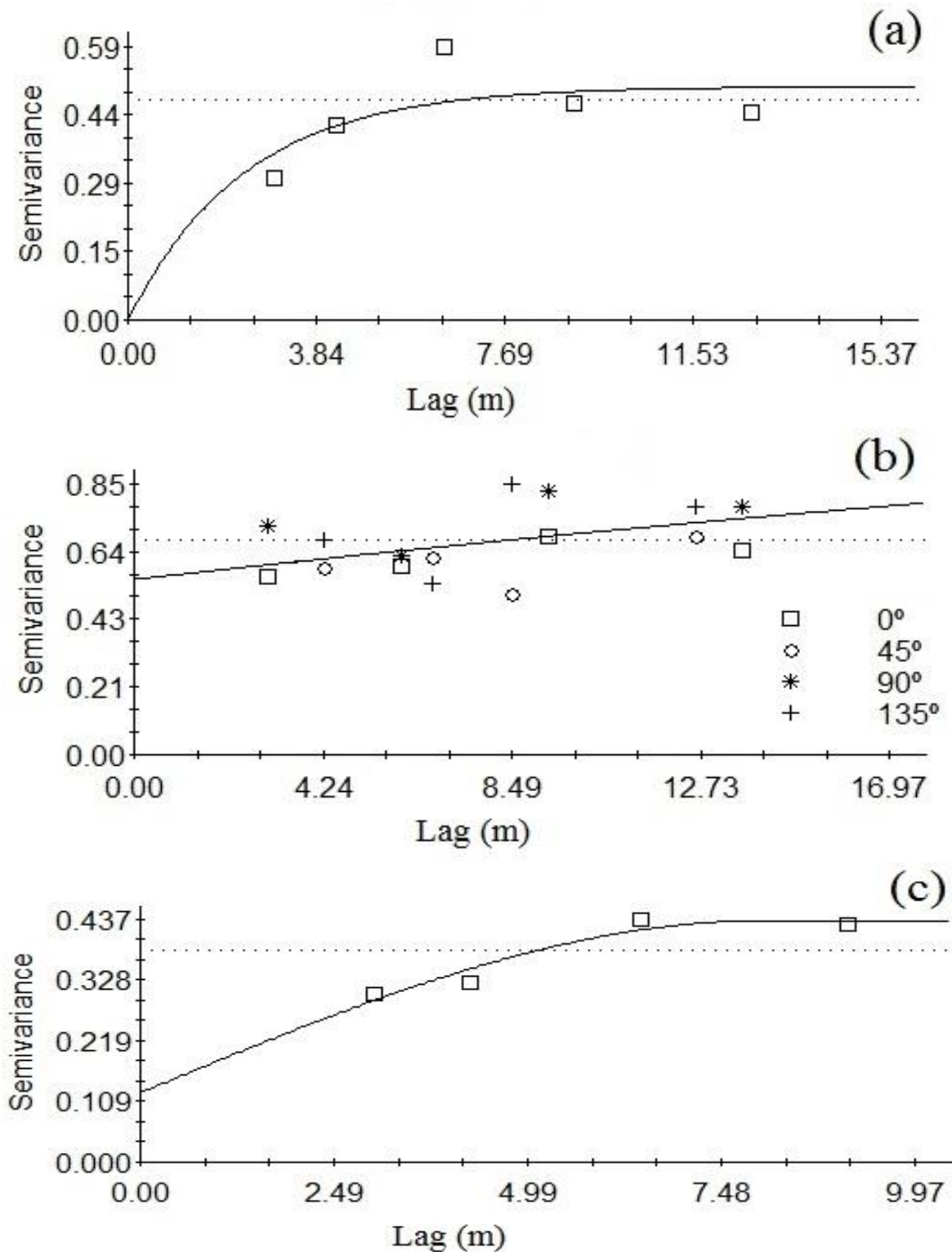
گونه‌ها	واریوگرام	اثر قطعه‌ای (C0)	سقف (C0+C)	دامنه همبستگی (A0, m)	ساختار مکانی c/(c0+c)	R^2	RSS	مدل
بلوط ایرانی (<i>Quercus brantii</i>)	همسانگرد	0.001	0.502	2.4	~1	0.51	0.021	نمایی
کاج تهران (<i>Pinus eldarica</i>)	ناهمسانگرد	0.54	0.76	10.8	0.3	0.66	0.102	خطی
سرو نقره‌ای (<i>Cupressus arizonica</i>)	همسانگرد	0.125	0.434	8.03	0.713	0.92	1.189E-03	کروی

مقادیر کمتر RSS و بیشتر R^2 نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن مدل تجربی است.



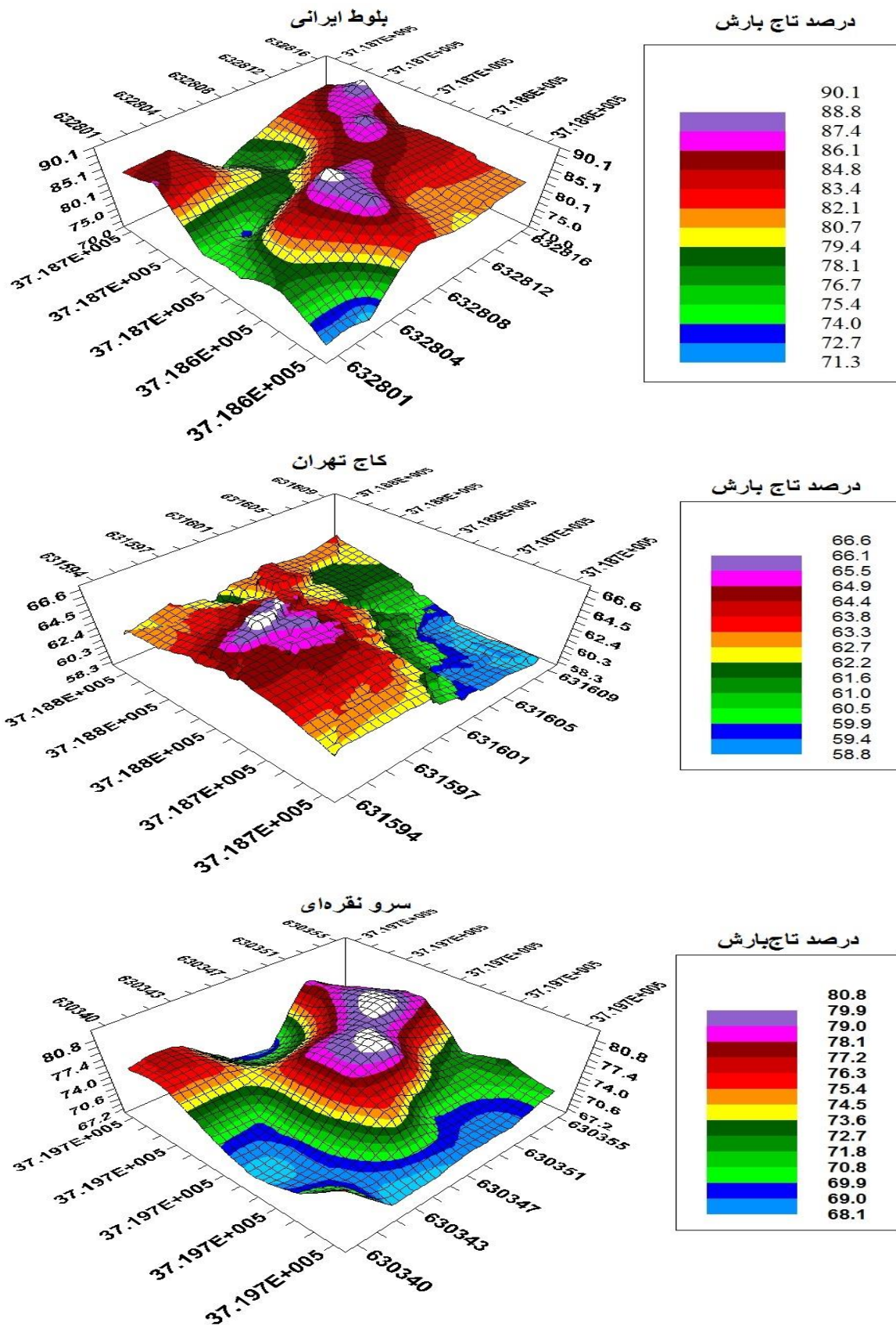
شکل ۲- نقشه واریوگرام سطحی تاج بارش در جهت‌های شرقی-غربی و شمالی-جنوبی در سه توده (A: بلوط ایرانی، B: کاج تهران و C: سرو نقره ای)

Figure 2-. Surface variogram maps of throughfall (mm) in the west-east (W-E) and north-south (N-S) directions, for for three stands (A: *Quercus brantii*, B: *Pinus eldarica* and C: *Cupressus arizonica*)



شکل ۳- واریوگرام‌های تجربی همسانگرد و ناهمسانگرد برای تاج‌بارش (میلی‌متر) و مدل‌های نظری برازش داده‌شده در سه توده مورد مطالعه (A: بلوط ایرانی، B: کاج تهران و C: سرو نقره‌ای)، اعداد درجه در قسمت b نشان‌دهنده جهات جغرافیایی مختلف برازش واریوگرام هستند.

Figure 3- Experimental isotropic and anisotropic variograms for throughfall (mm) and the corresponding fitted models for three studied stands (A: *Quercus brantii*, B: *Pinus eldarica* and C: *Cupressus arizonica*), The degree numbers in the legend of part b indicate different geographical directions of variogram fitness.



شکل ۴- نقشه درونیابی تاج بارش تجمعی به روش کریجینگ معمولی برای تاج بارش‌های با میانگین نسبی خطای مطلق $30\% < (RMAE)$

Figure 4- Interpolation maps of cumulative throughfall using normal kriging Method for throughfalls with relative mean absolute error (RMAE) > 30%

جدول ۴- مشخصات رخدادهای بارش و نتایج اعتبارسنجی متقابل برای سه توده Pg = بارندگی کل، MAE = میانگین خطای مطلق، RMAE = میانگین خطای مطلق نسبی. تبدیل داده‌ها برای نرمال‌سازی با روش‌های لگاریتم (Log)، ریشه دوم (Sqr) و مقیاس (Scale) ۰-۱ انجام شد.

Table 4- Precipitation characteristics and results of cross-validations for three stands. Pg= Precipitation, MAE= Mean Absolute Error, RMAE= Relative Mean absolute error. A lognormal (Log), a square root (Sqr) transformation, and scaling data to range of 0-1 (Scale) were used in order to normalize data for skewed frequency distributions.

رخدادهای باران Rainstorm Event	P_g (mm)	بلوط ایرانی				کاج تهران				سرو نقره‌ای			
		<i>Quercus brantii</i>				<i>Pinus eldarica</i>				<i>Cupressus arizonica</i>			
		T_f (mm)	MAE (mm)	RMAE (%)	Skewness	T_f (mm)	MAE (mm)	RMAE (%)	Skewness	T_f (mm)	MAE (mm)	RMAE (%)	Skewness
1	0.4	0.03	0.05	57.17	0.71	0.01	0.04	18.85	2.09	0.02	0.05	14.56	1.15
2	1.5	0.31	0.12	44.43	0.87	0.22	0.15	35.1	1.35	0.16	0.11	32.4	1.66
3	0.2	0.01	0.03	54	1.98	0.01	0.03	16.61	2.09	0.02	0.33	41.89	2.09
4	27.1	22.47	1.66	13.4	-0.44	14.19	4.38	25.09	0.31	16.83	2.24	8.34	-0.03
5	13.2	10.61	0.72	12.8	0.12Sqr	6.24	0.75	5.95	-0.51	7.49	1.35	12.86	-0.76
6	0.5	0.18	0.07	47.9	0.41	0.05	0.09	40.63	1.09	0.04	0.09	16.2	1.43
7	28.3	23.96	1.39	11.9	0.14Scale 0-1	14.67	1.3	2.89	0.68	17.79	2.27	7.75	-0.23
8	23.9	19.77	1.2	12.1	-0.62	12	2.46	14.61	-0.23	14.13	2.83	15.26	-0.38Log
9	21.5	17.9	1.08	12	-0.99	10.59	2.34	16.18	0.27	12.47	2.83	17.86	-0.25
10	28.9	24.52	0.91	9.71	0.07Log	14.89	3.82	19.9	0.16	17.87	1.88	5.58	-0.07
11	6.1	4.08	0.28	12.9	-1.41	2.82	0.79	22.43	0.07	3.2	0.63	14.4	-0.52
12	0.8	0.18	0.07	0.37	0.81	0.09	0.08	0.85	1.01Sqr	0.09	0.08	37.15	0.16
13	5	3.25	0.41	18.5	-0.74	2.28	0.47	14.33	0.04	2.59	0.54	15.81	-0.31
14	3.9	2.45	0.22	17	-1.07	1.74	0.35	4.42	-0.5	2	0.54	21.49	-0.24
15	13.6	9.76	0.7	11.12	0.28	6.68	0.79	5.9	0.11	7.5	0.89	6.78	-0.27Sqr
16	16.3	13.05	1.24	15.52	-0.78	8.12	0.81	4	-0.16	9.29	1.4	10.04	0.81
17	26.7	21.66	0.9	10.15	-0.34	13.7	1.27	3.37	0.36	16.32	2.01	4.28	-0.13Sqr
18	33.8	29.11	1.12	3.87	0.28	18.04	2.3	6.79	0.02	21.56	2	4.3	-0.27
19	2.5	1.72	0.26	21.24	-0.71Sqr	1.06	0.34	19.71	-0.1	1.21	0.26	16.59	-0.41
20	4	2.88	0.39	19.66	-0.68	1.81	0.32	11.94	0.29	1.92	0.48	19.9	0.18Log
Cumulative Mean	258.2 12.91	207.91 10.4	0.64	20.29	-0.11	129.21 6.46	1.14	14.48	0.42	152.47 6.81	1.14	16.32	0.18

بحث

(Attarod, 2017). نظر به یکسان بودن عوامل اقلیمی و مشخصات بارندگی در توده‌های مورد مطالعه به دلیل نزدیکی توده‌ها به همدیگر، می‌توان گفت که ویژگی‌های پوشش گیاهی و ساختاری عامل اصلی تأثیرگذار بر تفاوت مقدار تاج‌بارش عبوری از تاج‌پوشش توده‌های مورد بررسی است. از پارامترهای ساختاری تأثیرگذار بر جذب بیشتر آب و کاهش میزان تاج‌بارش می‌توان نیروی چسبندگی یا کشش سطحی بیشتر در توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگ را نام برد. در واقع درختان سوزنی‌برگ به دلیل ویژگی‌های برگ و تاج، آب بیشتری جذب می‌کنند و تاج بارش کمتری نسبت به درختان پهن‌برگ دارند (Levia et al., 2019). از دیگر عوامل تفاوت توزیع تاج‌بارش توده‌های مورد بررسی می‌توان به بالا بودن شاخص سطح برگ سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگ و همچنین خاصیت خزان‌کننده بودن توده بلوط ایرانی نسبت به دو توده سوزنی‌برگ دیگر اشاره کرد.

در طی دوره مطالعه تعداد ۲۰ بارندگی با مجموع بارش ۲۵۸/۲ میلی‌متر ثبت گردید که ۸۰/۳ درصد، ۵۰ درصد و ۵۹ درصد آن به ترتیب برای توده‌های بلوط شاخه‌زاد ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به صورت تاج‌بارش از تاج‌پوشش عبور و به سطح زمین رسید که همسو با نتایج مطالعات Cao و همکاران (۲۰۰۸) و Fathizadeh و همکاران (۲۰۲۱) است. مرور منابع نشان می‌دهد که مقدار تاج‌بارش در بوم‌سازگان‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ متغیر بوده و از حدود ۳۰ درصد تا بیش از ۸۰ درصد گزارش شده است (Llorens & Domingo, 2007; Fathizadeh et al., 2014). نتایج این پژوهش نشان داد که درصد تاج‌بارش گونه شاخه‌زاد بلوط ایرانی، بیشتر از گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای است (جدول ۱) که با دیگر پژوهش‌ها در زمینه توزیع اجزای بارندگی در توده‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ همسو می‌باشد (Sadeghi &

این توده، به احتمال زیاد به دلیل حداقل فواصل بالاتر بین باران‌سنگ‌ها است، که منجر به کمبود اطلاعات در همبستگی مکانی در فواصل کم شده است (Fathiadeh et al., 2014).

هر چه پیوستگی مکانی بیشتر و تغییرپذیری تاج‌بارش در سطح عرصه کمتر باشد، بیانگر این نکته است که عوامل آشفته‌کننده در سطح توده (تغییر شیب و توپوگرافی، بادافتادگی و ریشه‌کن شدن درختان در عرصه) کمتر است و در نتیجه پیوستگی مکانی بیشتر است (Dezhban et al., 2019). با توجه به این که دو توده کاج‌تهران و سرو نقره‌ای جنگلکاری بوده و نسبت به بلوط ایرانی دارای همگنی بیشتر و آشفستگی کمتر در سطح توده می‌باشند، دارای پیوستگی مکانی بیشتری هستند که در این مطالعه با روش زمین‌آمار این پیوستگی مکانی مشاهده شد. تفاوت در طراحی آزمایش، مانند اندازه قطعات نمونه، تعداد، اندازه و تراکم مکانی جمع‌آوری‌کننده‌ها، مقیاس زمانی تجمع تاج‌بارش (زمان بین نمونه‌های جمع‌آوری‌شده تاج‌بارش)، مقایسه مستقیم نتایج این تحقیق با کارهای منتشر شده قبلی را دشوار می‌کند. با این وجود، به نظر منطقی می‌رسد که رابطه‌ای بین ویژگی‌های توده و مقیاس زمانی جمع‌آوری تاج‌بارش، وجود داشته باشد. روش مورد بررسی در مطالعه حاضر در فهم ارتباط الگوهای مکانی تاج‌بارش با عوامل محیطی و اقدامات لازم، کمک می‌کند. از طرفی، مدیران و جنگل‌شناسان می‌توانند با فهم الگوهای مکانی تاج‌بارش توده‌های طبیعی و جنگلکاری شده با در نظر گرفتن فرآیندهای هیدرولوژیک، در مدیریت بهینه و بهبود عملیات پرورشی در دیگر توده‌های جنگلی با شرایط مشابه آب‌وهوایی بهره‌گیرند.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه ایلام انجام شده است.

ساختار مکانی تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش سه توده بلوط ایرانی، کاج‌تهران و سرو نقره‌ای، پیوستگی مکانی زیادی را با دامنه تأثیر به ترتیب ۲/۴، ۱۰/۸ و ۸ متر نشان داد. این ساختار مکانی بیانگر این است که تغییرات مکانی تاج‌بارش در محدوده مشخصی (دامنه تأثیر) به مقدار تاج‌بارش جمع‌آوری‌کننده‌های دیگر از لحاظ مکانی وابسته است (Gomez et al., 2002). محققان در مورد دامنه تأثیر و پیوستگی ساختار مکانی نتایج متفاوتی ارائه کرده‌اند. Dezhban و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی ساختار مکانی تاج‌بارش در یک توده خزان‌کننده راش پیوستگی مکانی را با دامنه تأثیر ۲ تا ۸ متر گزارش کردند. Loustau و همکاران (۱۹۹۲) در توده کاج (*Pinus pinaster*) هیچ همبستگی مکانی برای تاج‌بارش مشاهده نکردند و Loescher و همکاران (۲۰۰۲) در جنگل گرمسیری همبستگی مکانی تاج‌بارش را ۴۳ متر گزارش کرد. Keim و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه بر روی یک توده خزان‌کننده با گونه غالب *Alnus rubra*، پیوستگی مکانی تاج‌بارش را در دو فصل برگ‌دار و بی‌برگ مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که توده در فصل خزان دارای همبستگی مکانی نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر، دامنه تأثیر پیوستگی مکانی تاج‌بارش در توده کاج‌تهران و سرو نقره‌ای بیشتر از توده بلوط ایرانی مشاهده شد که از دلایل آن می‌توان به همیشه سبز بودن سوزنی‌برگان، درصد بیشتر LAI و تأثیر برگ‌ها بر الگوی مکانی تاج‌بارش اشاره کرد. دلیل این تفاوت در دامنه تأثیر و پیوستگی ساختار مکانی تاج‌بارش، نوع گونه متفاوت، ساختار تاج‌پوشش، حجم توده، تعداد نمونه، روش نمونه‌برداری، سطح نمونه‌برداری، تعداد نمونه‌های تاج‌بارش، و شرایط آب و هوایی است (Voss et al., 2016). وجود اثر قطعه‌ای بیشتر در واریوگرام توده کاج تهران نسبت به سایر توده‌ها و همچنین عدم وجود آستانه سقف مشخص در

References

- Cao, Y., Ouyang, Z.Y., Zheng, H., Huang, Z.G., Wang, X.K., & Miao, H. (2008). Effects of forest plantations on rainfall redistribution and erosion in the red soil region of southern China. *Land degradation & development*, 19(3), 321-330. <https://doi.org/10.1002/ldr.812>
- Chazdon, R.L., Brancalion, P.H.S., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., & Wilson, S.J. (2016). When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*, 45(5), 538-550. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y>
- David, M. (1970). *The geostatistical estimation of porphyry type deposits and scale factor problems*. In: Proceedings, Pribram Mining Symposium. Pribram.
- Dezhban, A., Attarod, P., Zahedi Amiri, Gh., Pypker, T. G., & Nanko, K. (2019). Seasonal variability of throughfall spatial pattern under a natural *Fagus orientalis* stand using geostatistical method. *Iranian Journal of Forest*, 11(1), 13-28. (In Persian)
- Dezhban, A., Attarod, P., Hölscher, D., & Holder, C.D. (2023). Spatial variability of throughfall in heavily fogged old-growth *Fagus orientalis* forests is controlled by fog precipitation and stand structural characteristics. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 23(3), 457-468. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.04.003>
- Fathizadeh, O., Attarod, P., Keim, R.F., Zahedi Amiri, G.H., & Darvishsefat, A.A. (2014). Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees. *Hydrological Processes*, 28, 1124-1136. <https://doi.org/10.1002/hyp.9638>
- Fathizadeh, O., Sadeghi, S.M.M., Pazhouhan, I., Ghanbari, S., Attarod, P., & Su, L. (2021). Spatial variability and optimal number of rain gauges for sampling throughfall under single oak trees during the leafless period. *Forests*, 12(5), 585. <https://doi.org/10.3390/f12050585>
- Ford, E., & Deans, J. (1978). The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation. *Journal of Applied Ecology*, 15, 905-917. <https://doi.org/10.2307/2402786>
- Gomez, J.A., Vanderlinden, K., Giraldez, J.V., & Fereres, E. (2002). Rainfall concentration under olive trees. *Agricultural Water Management*, 55, 53-70. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00181-0)
- Herwitz, S.R., & Slye, R.E. (1992). Spatial variability in the interception of inclined rainfall by a tropical rainforest canopy. *Selbyana*, 13, 62-71.
- Hu, X., Fu, Z., Sun, G., Wang, B., Liu, K., Zhang, C., Han, L., Chen, L., & Zhang, Z. (2024). Importance of forest stand structures for gross rainfall partitioning on China's Loess Plateau. *Journal of Hydrology*, 631, 130671. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130671>
- Jazirei, M.H., & Ebrahimi Rastaghi, M. (2003). *Silviculture in Zagros*, Tehran University Publications, p. 560 (In Persian)
- John, R., Dalling, J.W., Harms, K.E., Yavitt, J.B., Stallard, R.F., Mirabello, M., Hubbell, S.P., Valencia, R., Navarrete, H., Vallejo, M., & Foster, R.B. (2007). Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species. *PNAS*, 104, 864-869. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604666104>
- Keim, R.F., Skaugset, A.E., & Weiler, M. (2005). Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. *Journal of Hydrology*, 314(1), 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.021>
- Lark, R. (2000). A comparison of some robust estimators of the variogram for use in soil survey. *European Journal of Soil Sciences*, 51(1), 137-157. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00280.x>
- Levia Jr, D.F., & Frost, E.E. (2006). Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 30(5), 605-632. <https://doi.org/10.1177/0309133306071145>
- Levia, D.F., Nanko, K., Amasaki, H., Giambelluca, T.W., Hotta, N., Iida, S.I., & Yamada, K. (2019). Throughfall partitioning by trees. *Hydrological Processes*, 33(12), 1698-1708. <https://doi.org/10.1002/hyp.13432>
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J., & Gallart, F. (1997). Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of hydrology*, 199(3-4),

- 331-345. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03334-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03334-3)
- Llorens, P., & Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335(1-2), 37-54. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.032>
- Lloyd, C.R., & Marques, F. (1988). Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42, 63-73. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(88\)90067-6](https://doi.org/10.1016/0168-1923(88)90067-6)
- Loescher, H.W., Powers, J.S., & Oberbauer, S.F. (2002). Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 18(3), 397-407. <https://doi.org/10.1017/S0266467402002274>
- Loustau, D., Berbigier, P., Granier, A., & Moussa, F. E. H. (1992). Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. *Journal of Hydrology*, 138(3-4), 449-467. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90130-N](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90130-N)
- Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., & Moriwaki, H. (2011). Spatial variability of throughfall under a single tree: Experimental study of rainfall amount, raindrops, and kinetic energy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(9), 1173-1182. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.04.006>
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Phillips, O.L., & Jackson, R.B. (2011). The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44(1), 593-622. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135914>
- Rostami, N., Heydari, M., Uddin, S.M., Esteban Lucas-Borja, M., & Zema, D.A. (2022). Hydrological response of burned soils in croplands, and pine and oak forests in Zagros forest ecosystem (western Iran) under rainfall simulations at micro-plot scale. *Forests*, 13(2), 246. <https://doi.org/10.3390/f13020246>
- Roy, M.B., Roy, P.K., Halder, S., Banerjee, G., & Mazumdar, A. (2021). *Assessment of Stream Flow Impact on Physicochemical Properties of Water and Soil in Forest Hydrology Throughfall Statistical Approach*. In *India: Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation in Developing Countries* (pp. 207-225).
- Sadeghi, S.M.M., & P. Attarod. (2017). Estimation of ecohydrological parameters of trunk and canopy of a Pinus eldarica plantation. *Journal of Forest Research and Developmet*, 3(3), 207-220. (In Persian)
- Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K., & Verhoest, N.E.C. (2008). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: Influence of foliage, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes*, 22, 33-45. <https://doi.org/10.1002/hyp.6610>
- Viville, D., Biron, P., Granier, A., Dambrine, E., & Probst, A. (1993). Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). *Journal of Hydrology*, 144(1-4): 273-282. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90175-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90175-9)
- Voss, S., Zimmermann, B., & Zimmermann, A. (2016). Detecting spatial structures in throughfall data: The effect of extent, sample size, sampling design, and variogram estimation method. *Journal of Hydrology*, 540, 527-537. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.042>
- Webster, R., & Oliver, M. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*. (2nd edn) John Wiley & Sons. Chichester, UK.
- Wullaert, H., Pohlert, T., Boy, J., Valarezo, C., & Wilcke, W. (2009). Spatial throughfall heterogeneity in a montane rain forest in Ecuador: Extent, temporal stability and drivers. *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.001>
- Zhang, M., Liu, N., Harper, R., Li, Q., Liu, K., Wei, X., & Liu, S. (2017). A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime. *Journal of Hydrology*, 546, 44-59. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.040>
- Zhao, W., Ji, X., Jin, B., Du, Z., Zhang, J., Jiao, D., & Zhao, L. (2023). Experimental

partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception loss by *Haloxylon ammodendron*, a dominant sand-stabilizing shrub in northwestern China. *Science of The Total Environment*, 858, 159928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159928>

Zimmermann, A., Germer, S., Neill, C., Krusche, A.V., & Elsenbeer, H. (2008). Spatio-temporal patterns of throughfall and solute deposition in an open tropical rain forest. *Journal of Hydrology*, 360(1), 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.028>

Investigating the trend and explaining the key drivers of desertification and land degradation in Salehiyeh wetland and Qazvin salt plain

Hadi Eskandari Damaneh¹, Yaser Ghasemi Aryan^{1*}

1. Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

* Corresponding author: ghasemiaryan@rifr-ac.ir

(Received: 14 April 2024

Revised: 21 May 2024

Accepted: 10 July 2024)

Extended Abstract

Introduction: Today, due to human activities, climate change, and other factors, wetlands within the country are rapidly diminishing. Wetlands are critical ecosystems that support a vast array of biodiversity and provide valuable goods and services. They offer numerous economic and environmental advantages, such as carbon sequestration, groundwater replenishment, flood mitigation, and resources for food and fodder. Globally, wetlands are subjected to intense degradation pressures, primarily due to human-induced changes. These include expanding agriculture, urban development, inter-basin water transfers, and destroying natural habitats. Additionally, alterations in wetland catchment areas, resulting from land use changes that affect various surface processes, typically modify the condition of wetlands. Consequently, this study aims to examine the transformation of the Salehiyeh wetland from 1987 to 2023 using Landsat satellite imagery and to explore the factors contributing to the area's degradation and desertification through documentary and field surveys.

Materials and methods: Landsat 5 and 8 satellite images were utilized to study the changes in water bodies and saltlands in the Qazvin-Alborz region from 1988 to 2023. Following radiometric and atmospheric corrections, maps depicting the region's water bodies and vegetation cover were generated using ArcGIS Pro 2.8 and ArcGIS 10.8, respectively. These maps were derived using the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the years of study. Documentary research and survey methods also identified the primary factors influencing these changes.

Results and Discussion: The results indicated that the water abstraction area in the study area was approximately 8922.36, 2844.02 and 1135.28 hectares in 1988, 1998, and 2009, respectively. This area decreased to 921.01, 409.38, and 167.54 hectares in 2019, 2022, and 2023, respectively. Correspondingly, the changes in the area's vegetation were consistent with the changes in its water. Before the construction of the drainage system, in 1988, 1998, and 2009, vegetation covered approximately 7196.56, 4293.62, and 2576.50 hectares, respectively. In the years following the construction of the drainage system, namely 2019, 2022, and 2023, the vegetation spanned 3337.12, 514.64, and 473.61 hectares, respectively. Investigations revealed that disruptions in the wetland's hydrological cycle due to the construction of dams on the main rivers, the development of drainage systems, communication lines, infrastructure, and the pressure of livestock grazing are the most significant factors affecting the current condition of the wetland. The results related to explaining the key drivers of desertification and land degradation in the Salehiyeh wetland and the saltland of the central Qazvin plain have shown the serious impact of human activities on the current state of the wetland. In the meantime, the loss of wetland rights due to the construction of Kinehwors Dam on the Abharroud River, the construction of a diversion dam on the Kordan River to Hashtgerd Plain recharge, and the construction of a diversion dam on the Ziyaran River played an important role in disrupting the hydrological cycle of the wetland. The implementation of construction projects in the wetland, including the construction of a drainage system, the construction of the Abyek-Charamshahr freeway, the establishment of Azadi Airport, and the development of agricultural lands, has contributed to the cause of a serious threat to the safety of the wetland's wildlife, its destruction, and its ecological and geographical isolation. Also, constructing the access road and overpasses to transfer water on the side and the drainage canal has provided more access to the herdsmen and hunters. It has increased the population of excess grazing animals in that area, especially camels.

Conclusion: Generally, the desertification and land degradation observed in the Salehiyeh wetland and the salt lands of the central Qazvin plain can be attributed to a neglect of sustainable land management principles. Additionally, climatic anomalies have exacerbated the destructive effects over the past two decades. Any measures aimed at correcting and enhancing the ecological condition of the wetland should prioritize controlling the primary sources of dust production. These measures should involve mitigating the impact of human activities as much as possible, regulating livestock grazing, restoring vegetation, and emphasizing organizational unity and the involvement of local communities.

Keywords: Vegetation cover, Water bodies, Dust hot point, Sustainable land management

Citation: Eskandari Damaneh, H. & Ghasemi Aryan, Y. (2025). Investigating the trend and explaining the key drivers of desertification and land degradation in Salehiyeh wetland and Qazvin salt plain. *Integrated Watershed Management*, 4(4), 81-93. doi: 10.22034/iwm.2024.2026209.1146

Copyrights:

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





بررسی روند و تبیین پیشران‌های کلیدی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در تالاب صالحیه و

شوره‌زار دشت مرکزی قزوین

هادی اسکندری‌دامنه^۱، یاسر قاسمی آریان^{*۱}

۱- بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران،

ایران

*نویسنده مسئول: ghasemiaryan@rifr-ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰)

چکیده مبسوط

مقدمه: تالاب‌ها از جمله اکوسیستم‌هایی هستند که از طیف وسیعی از تنوع زیستی پشتیبانی نموده و کالا و خدمات با اهمیت زیست‌محیطی را ارائه می‌نمایند. به طوری که مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی زیادی مانند ترسیب کربن، تغذیه آب زیرزمینی، کنترل سیلاب، تولید غذا، فراهم کردن علوفه و غیره را به همراه دارند. در سراسر جهان، تالاب‌ها با فشار تخریب شدیدی مواجه هستند که عمدتاً تغییرات حاصل، ناشی از فعالیت‌های انسانی است. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان توسعه اراضی کشاورزی، شهرسازی، تغییرات کاربری زمین، انتقال آب بین حوضه‌ای و تخریب زیستگاه‌های طبیعی را نام برد. از این رو مطالعه حاضر باهدف بررسی روند تغییرات تالاب صالحیه در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۶ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و همچنین بررسی عوامل مؤثر بر تخریب و بیابان‌زایی منطقه با استفاده از روش بررسی اسنادی و پیمایش صحرایی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی روند تغییرات بستر آبی و شوره‌زار قزوین-البرز در دوره زمانی سال ۱۴۰۲-۱۳۶۶ از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ استفاده شد. پس از اعمال تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری، نقشه بستر آبی و پوشش گیاهی منطقه در محیط نرم‌افزارهای Arc 10.8 و ArcGIS Pro 2.8 GIS به ترتیب با استفاده از شاخص اصلاح شده آب تفاضلی نرمال شده (MNDWI) و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های مورد مطالعه استخراج گردید. همچنین تبیین پیشران‌های اصلی با روش اسنادی و پیمایشی انجام گرفت.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد بستر آبی تالاب در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ به ترتیب ۸۹۲۲/۳۶، ۲۸۴۴/۰۲ و ۱۱۳۵/۲۸ هکتار بوده است، که این مساحت در سال‌های بعد از احداث زهکش یعنی سال‌های ۱۳۹۷، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب به ۹۲۱/۰۱، ۴۰۹/۳۸ و ۱۶۷/۵۴ هکتار کاهش یافته است. نتایج مربوط به تغییرات پوشش گیاهی سطح منطقه نیز منطبق بر تغییرات آبی آن است، به طوری که پوشش گیاهی در سال‌های قبل از احداث زهکش یعنی سال ۱۳۶۶، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ به ترتیب حدود ۷۱۹۶/۵۶، ۴۲۹۳/۶۲ و ۳۵۷۶/۵۰ هکتار از منطقه را در بر گرفته و در سال‌های بعد از احداث آن یعنی سال‌های ۱۳۹۷، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۳۳۳۷/۱۲، ۵۱۴/۶۴ و ۴۷۳/۶۱ هکتار کاهش یافته است. نتایج مربوط به تبیین پیشران‌های کلیدی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در تالاب صالحیه و شوره‌زار دشت مرکزی قزوین، گویای تأثیر جدی فعالیت‌های انسانی بر وضع موجود تالاب است. در این میان ضایع شدن حقایق تالاب در اثر احداث سد کینه‌ورس روی رودخانه ابهرود، احداث بند انحرافی روی رودخانه کردان جهت تغذیه مصنوعی دشت هشتگرد و احداث سد انحرافی روی رودخانه زیاران نقش مهمی در اختلال چرخه هیدرولوژیکی تالاب داشته است. همچنین اجرای پروژه‌های عمرانی در تالاب از جمله احداث زهکش، احداث آزادراه آبیگ - چرمشهر و تأسیس فرودگاه آزادی و توسعه اراضی کشاورزی، تهدیدی جدی در خصوص امنیت حیات وحش تالاب، تخریب و انزوای اکولوژیکی و جغرافیایی به همراه دارد. همچنین احداث مسیر دسترسی و روگذرهای به‌منظور انتقال آب در حاشیه و روی کانال زهکش، دسترسی بیشتر دامداران و شکارچیان را باعث گردیده و بر جمعیت دام‌های مازاد چراکننده از قبیل شتر در آن محدوده افزوده است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در تالاب صالحیه و شوره‌زار دشت مرکزی قزوین، محصول عدم توجه به اصول مدیریت پایدار سرزمین است. در این میان، ناهنجاری‌های اقلیمی نیز طی دو دهه اخیر باعث تشدید اثرات تخریبی شده است. بر این اساس هرگونه اقدام جهت اصلاح و بهبود وضعیت اکولوژیکی تالاب با تأکید بر کنترل کانون‌های بحرانی تولید گردوغبار، می‌بایست مبتنی بر تعدیل اثرات اقدامات انسانی فوق‌الذکر تا حد امکان، کنترل چرای دام و احیای پوشش گیاهی، با تأکید بر انسجام سازمانی و مشارکت اجتماعات محلی در فعالیت‌های مطلوب محیط‌زیست انجام گردد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، بستر آبی، کانون بحرانی گردوغبار، مدیریت پایدار سرزمین.

استناد: اسکندری‌دامنه، هادی و قاسمی آریان، ی. (۱۴۰۳). بررسی روند و تبیین پیشران‌های کلیدی بیابان‌زایی و تخریب

سرزمین در تالاب صالحیه و شوره‌زار دشت مرکزی قزوین. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۸۱-۹۳.

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

مناطق خشک حدود ۴۱ درصد از سطح زمین را در بر گرفته و بیش از ۳۳ درصد جمعیت جهان را در خود جای داده‌اند (Miao *et al.*, 2015). پوشش گیاهی کم، کمبود آب و فقر اجتماعی، از ویژگی‌های بارز این مناطق به حساب آمده و از عوامل اصلی آسیب‌پذیری و شکنندگی بالای آن شناخته می‌شوند (Li *et al.*, 2021). در این میان آسیای میانه و شرقی دارای خشک‌ترین مناطق در نیمکره شمالی زمین بوده که تا حد زیادی تحت تأثیر گرمایش زمین و فعالیت‌های روزافزون انسانی قرار گرفته‌اند (Darvand *et al.*, 2022; Berdugo *et al.*, 2021)؛ بنابراین، در این مناطق شدت تخریب اراضی و بیابان‌زایی روزبه‌روز در حال افزایش است. مطابق با تعریف کنوانسیون بین‌المللی مقابله با بیابان‌زایی (UNCCD) تخریب زمین به معنای کاهش مداوم تولید و عرضه محصولات بیولوژیکی از جمله علوفه، غذا، فیبر و غیره است که منشاء انسانی و طبیعی دارد (Ibrahim *et al.*, 2015). خشکیدگی تالاب‌ها و تبدیل آن‌ها به کانون تولید گردوغبار یکی از مصادیق جدی بیابان‌زایی و تخریب زمین در عصر حاضر، به‌خصوص در کشورهای خاورمیانه (که در ۲۵ درصد تولید ذرات گرد و غبار جهان سهیم هستند) به حساب می‌آیند (Morin & Poulin, 2018; Namdari *et al.*, 2018). این معضل زیست‌محیطی تأثیر منفی به‌سزایی بر کیفیت زندگی ساکنان، اکوسیستم، دید، حمل‌ونقل، خرد اقلیم و سیستم‌های ارتباطی دارد (Boroughani *et al.*, 2020; Rashki *et al.*, 2021). تالاب‌ها از جمله اکوسیستم‌هایی هستند که از طیف وسیعی از تنوع زیستی پشتیبانی نموده و کالا و خدمات با اهمیت زیست‌محیطی بالایی را ارائه می‌کنند. به‌طوری‌که مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی زیادی مانند ترسیب کربن، تغذیه آب زیرزمینی، کنترل سیلاب و تولید غذا و فراهم کردن علوفه و غیره به همراه دارند (Konar *et al.*, 2013; Konar *et al.*, 2010). در سراسر جهان، تالاب‌ها با فشار تخریبی

شدیدی مواجه هستند که عمدتاً به دلیل تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسانی به وجود آمده است. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان توسعه کشاورزی، شهرسازی، انتقال آب بین‌حوضه‌ای و تخریب زیستگاه‌های طبیعی را نام برد. همچنین تغییرات در حوضه‌های آبریز تالاب به دلیل تغییرات کاربری زمین (به دلیل تأثیرگذاری بر فرآیندهای مختلف سطح آن)، به طور کلی وضعیت تالاب‌ها را تغییر می‌دهد (Xiong *et al.*, 2022). فرآیندهای هیدرولوژیکی در حفظ تنوع زیستی اکوسیستم‌های تالابی، حیاتی هستند. تنوع زیستی در اکثر مقیاس‌های تحقیقاتی به‌شدت تحت تأثیر برخی عوامل هیدرولوژیکی قرار می‌گیرد (Simioni *et al.*, 2017). مطالعات گزارش کرده‌اند که ناهنجاری‌های هیدرولوژیکی، از جمله خشکسالی و سیل، نقش اساسی در حفظ تنوع زیستی آبریزان و تنوع پوشش گیاهی زمینی دارند. الگوهای هیدرولوژیکی تالاب و ارتباط آن‌ها شاخص‌های مهمی برای توصیف پایداری عملکردی آنان و مبنای عملکردی برای حفظ تنوع زیستی هستند (Konar *et al.*, 2010). این ناهنجاری‌های هیدرولوژیکی در بسترهای آبی مناطق خشک باعث کاهش شدید بستر آبی، خشک‌شدن کامل تالاب و تشدید پدیده گردوغبار می‌شوند (Darvishi Boloorani *et al.*, 2022; Darvishi Boloorani *et al.*, 2024). بررسی روند تغییرات بستر تالاب‌ها در مناطق خشک مستلزم تحلیل روند تغییرات این بسترها در درازمدت بوده، اما اطلاعات مربوط به این بسترها بسیار کم بوده و یا اطلاعات کافی برای تجزیه و تحلیل آنها وجود ندارد. در این راستا، علم و فناوری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند اطلاعات مفیدی را در مورد این مناطق با سرعت و دقت مناسب در اختیار کاربران و محققان قرار دهد و به‌طور مؤثر شکاف‌های عدم وجود داده را پر نماید (Skndari Amani & Dameneh, 2019; Ge *et al.*, 2022). همکاران (۲۰۲۱) از تصاویر ماهواره لندست چهار دهه گذشته برای بررسی روند تغییرات تالاب در آبرتا، کانادا استفاده کرد و اولین اطلاعات جامع را در مورد

صالحیه در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۶ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و همچنین بررسی عوامل مؤثر بر تخریب و بیابان‌زایی منطقه با استفاده از روش بررسی اسنادی و پیمایش صحرائی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

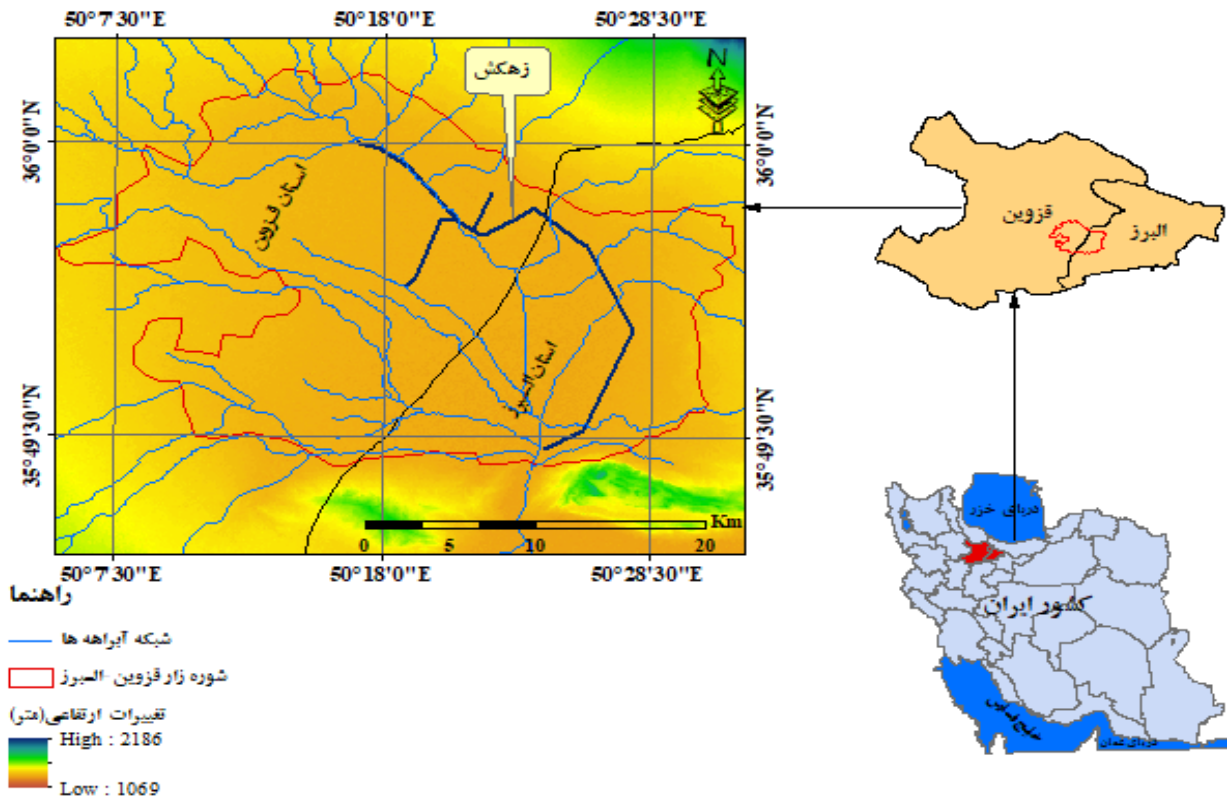
منطقه مورد مطالعه

شوره‌زار قزوین-البرز با مساحتی بالغ بر ۶۳۸۹۴ هکتار در غرب استان البرز (شهرستان نظرآباد) و شرق استان قزوین (شهرستان آبیک) واقع گردیده است. بیشتر مساحت تالاب در استان قزوین قرار گرفته که بیشتر با نام الله‌آباد و شوره‌زار مرکزی دشت قزوین شناخته می‌شود. محدوده مورد مطالعه در طول شرقی "۵۰°۷'۳۰" تا "۵۰°۲۸'۳۰" و عرض شمالی "۳۵°۳۰'۳۰" تا "۳۶°۰'۳۰" واقع شده است. دمای میانگین سالانه آن حدود $12/2^{\circ}C$ و میانگین بارندگی سالانه آن نیز ۳۲۰ میلی‌متر بوده که براساس طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک و سرد است. ارتفاع محدوده از ۱۱۳۵ تا ۱۰۶۹ متر از سطح دریا متغیر بوده و از نظر تقسیمات حوضه‌های آبریز کشور، در حوضه آبریز فلات مرکزی و زیرحوضه دریاچه نمک و رودخانه شور قرار دارد. شهرستان قزوین در شمال‌غربی، تاکستان در غرب، آبیک و نظرآباد در شمال‌شرقی و بوئین‌زهرا در جنوب‌غربی محدوده مورد مطالعه واقع گردیده است. ۹۵ درصد از اراضی این محدوده دارای هدایت الکتریکی بیش از ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر^۲ و ۶۵ درصد از اراضی، هدایت الکتریکی بیش از ۱۰۰ دسی‌زیمنس بر متر دارند (Uossef Gomrokchi et al., 2022). شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه (شوره‌زار قزوین-البرز) را نشان می‌دهد. همچنین در این شکل کانال زهکش شوره‌زار مرکزی دشت قزوین که در سال ۱۳۸۸، به طول ۴۵ کیلومتر، با هدف تخلیه شورابه موجود، احداث گردیده نشان داده شده است.

روند تغییرات تالاب آلبرتا طی ۳۷ سال ارائه کردند. Eskandari Damaneh و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تغییرات دریاچه ارومیه از تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۷۷ استفاده کردند. نتایج آنها آشکار ساخت که این تصاویر به‌خوبی روند تغییرات دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. Li و همکاران (۲۰۲۱) الگوهای تغییرات مکانی و زمانی تالاب ساحلی منطقه جینگ جین‌جی^۱ چین را در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۰ بر اساس تصاویر چندزمانی ماهواره لندست تجزیه و تحلیل کردند، نتایج آنها روند کاهشی دریاچه را در بازه زمانی مدنظر نشان می‌دهد. Wang و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر خشک‌شدن تالاب‌های مناطق خشک شمال‌غربی چین بیان کردند که تصاویر ماهواره لندست به‌خوبی تغییرات دریاچه‌های مربوطه و روند کاهش بستر در طول زمان را نشان می‌دهد. Ghoochani و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی تغییرات کاربری غرب تالاب جازموریان با استفاده از شاخص‌های به‌دست آمده از تصاویر ماهواره لندست بیان داشتند که روند تغییرات بستر آبی تالاب جازموریان کاهش یافته که این نتایج تأییدی بر دقت تصاویر ماهواره‌ای در پایش بسترهای آبی و سایر کاربری‌های دیگر می‌باشد. با توجه به بررسی منابع، بسیاری از تالاب‌ها مخصوصاً تالاب‌های مناطق خشک که وابسته به سیلاب بودند، در گذر زمان تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی و انسانی بوده‌اند. با توجه به اینکه اقلیم خشک بر گستره وسیعی از سطح کشور ایران غالب می‌باشد این تغییرات در کشور ما به‌خوبی نمایان است. از جمله تالاب‌های وابسته به سیلاب می‌توان تالاب صالحیه در مرز بین استان‌های البرز و قزوین را مثال زد که در گذر زمان به شدت دست‌خوش تغییرات اقلیمی و انسانی قرار گرفته است و تحقیق مناسبی در خصوص بررسی میزان و شدت تغییرات و همچنین عوامل مؤثر بر آن انجام نشده است. به همین دلیل تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات تالاب

² deciSiemens per metre (dS/m)

¹ Jing-Jin-Ji



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان‌های قزوین و البرز
Figure 1- Location of the study area in Iran and Qazvin and Alborz provinces

سال ۱۴۰۲-۱۳۶۶ از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ استفاده شد این تصاویر و اطلاعات مربوط به ترتیب در شکل ۲ و جدول ۱ ارائه شده‌اند.

روش تحقیق
داده‌های ماهواره‌ای و پردازش‌ها
در این پژوهش برای بررسی تغییرات بستر آبی و پوشش گیاهی شوره‌زار قزوین- البرز در دوره زمانی

جدول ۱- مشخصات تصاویر استفاده شده

Table 1- Specifications of the images used

تاریخ میلادی	تاریخ خورشیدی	درصد ابرناکی (%)	ماهواره	سنجنده	گذر/ردیف	قدرت تفکیک مکانی (متر)
1988.02.07	1366.11.18	10<	Landsat5	TM	35T/165	30
1998.03.22	1377.01.02	10<	Landsat5	TM	35/165	30
2009.03.22	1378.11.28	10<	Landsat5	TM	35/165	30
2019.01.11	1397.10.21	10<	Landsat8	OLI	35/165	30
2023.02.23	1401.12.04	10<	Landsat8	OLI	35/165	30
2024.01.17	1402.10.28	10<	Landsat9	OLI	35/165	30

کالکشن ۲^۳ از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (earthexplorer.usgs.gov) دریافت و برای پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم آماده شدند

همچنین برای تجزیه و تحلیل این داده‌ها از نرم‌افزارهای ArcGISPro 2.8، ArcGIS 10.8 و Excel استفاده گردید. این داده‌های چندطیفی سطح ۱-

³ Level1-collection2

(MNDWI) و شاخص نرمال شده تفاسل پوشش گیاهی^۹ (NDVI) برای سال‌های مورد مطالعه با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید (Arekhi *et al.*, 2019; Eskandari Damaneh *et al.*, 2022a, 2023).

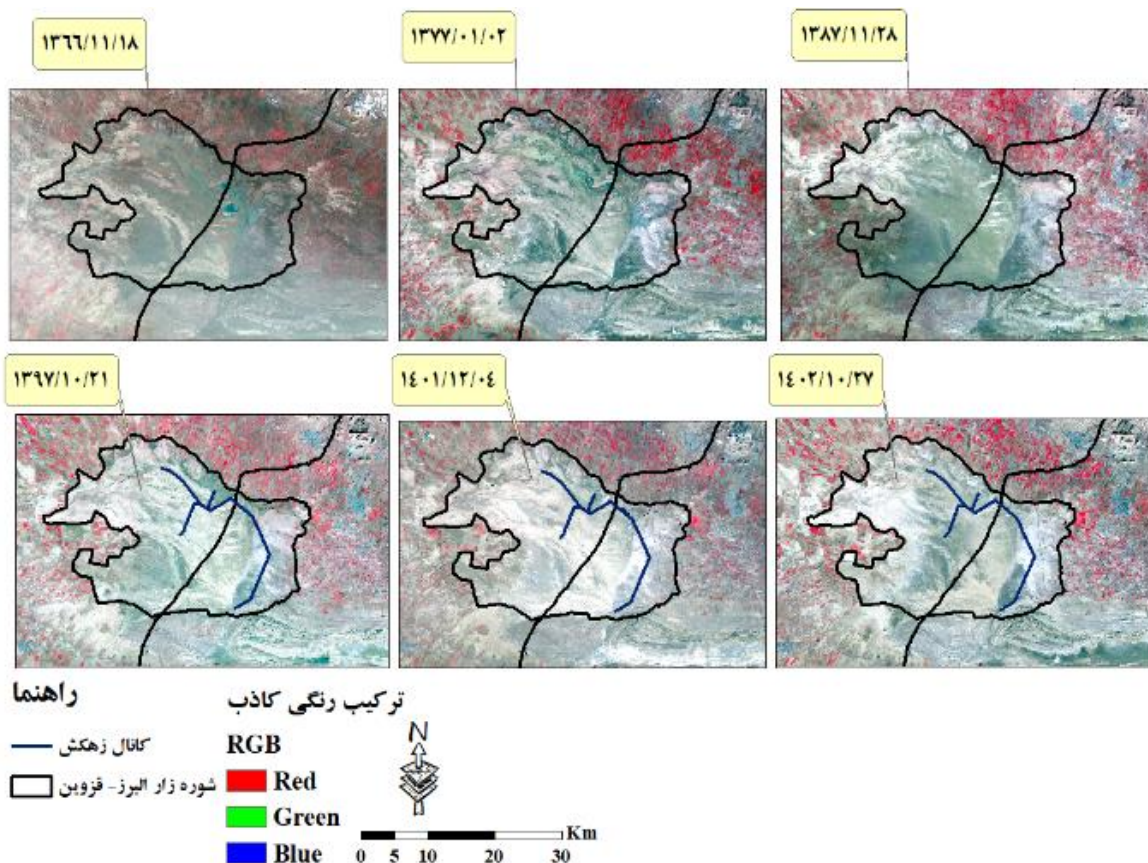
$$MNDWI = \frac{GREEN - SWR1}{GREEN + SWR1} \quad (1)$$

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

که مقادیر مثبت و منفی آن‌ها به ترتیب نشان دهنده مقادیر حداکثر و حداقل این شاخص می‌باشند (Eskandari damaneh *et al.*, 2023).

(Eskandari Damaneh *et al.*, 2020; Eskandari Damaneh *et al.*, 2022b). تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری به ترتیب با ابزارهای رادیومتر کالیبریتد^۴ و الگوریتم فلش^۵ در نرم افزار ENVI5.3 انجام شد، سپس نقشه بسترهای آبی و پوشش گیاهی به ترتیب از شاخص اصلاح شده آب تفاضلی نرمال شده^۶

در این رابطه‌ها^۸ NIR = باند مادون قرمز نزدیک،^۹ R = باند قرمز و^{۱۰} SWR1 = باند قرمز نزدیک موج کوتاه ۱ می‌باشند. مقدار این دو شاخص بین -۱ و +۱ می‌باشد



شکل ۲- تصاویر ماهواره لندست ۸ و ۵ از منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های مختلف
Figure 2- Landsat 8 and 5 satellite images of the studied area on different dates

⁸ Near Infrared Red (NIR)

⁹ Red

¹⁰ Short-Wave infrared (SWIR)

⁴ Radiometer Calibrated

⁵ FLAASH

⁶ Modified Normalized Difference Water Index

⁷ Normalized Difference Vegetation Index

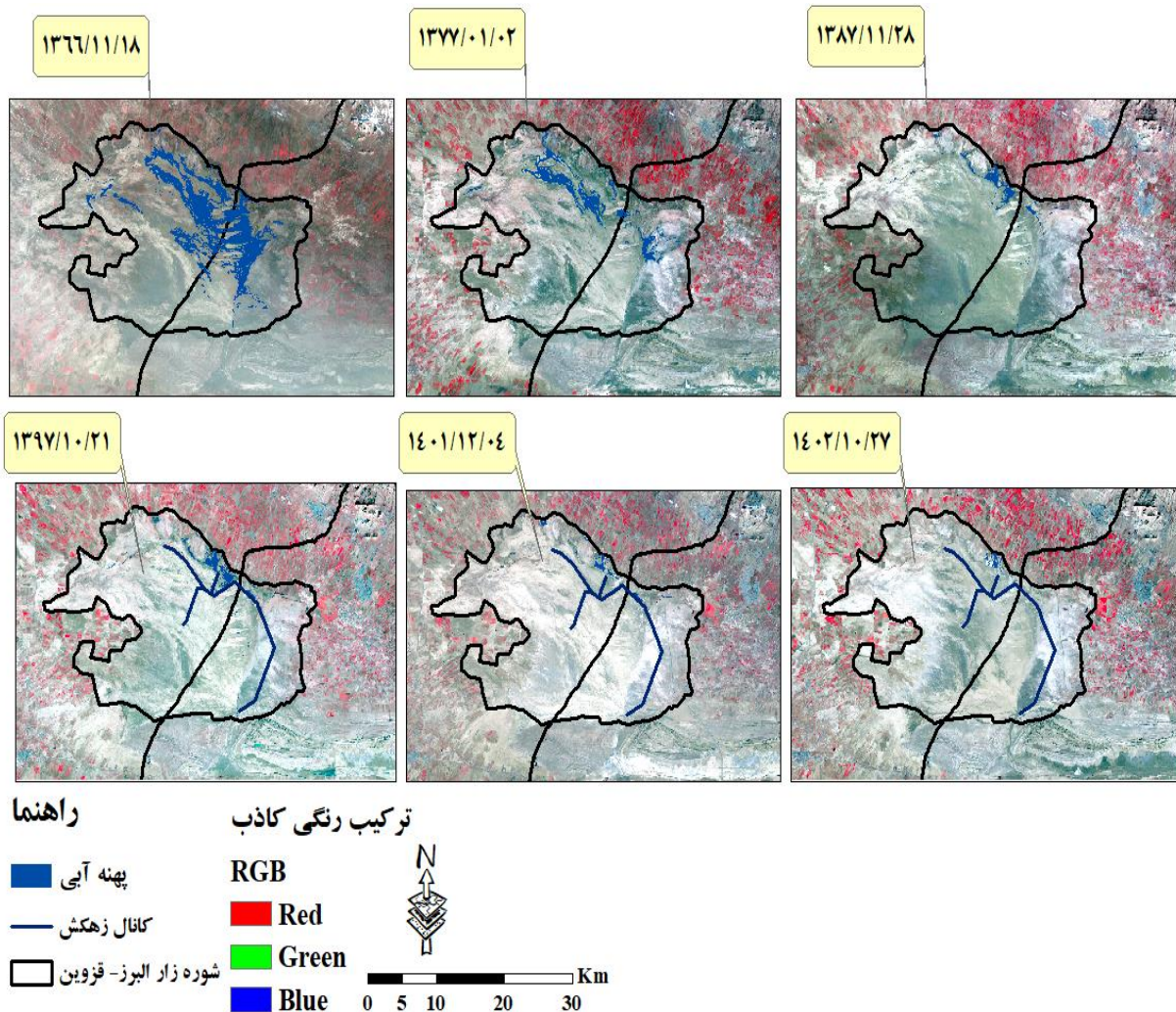
نتایج

بررسی تغییرات بستر آبی شوره‌زار قزوین-البرز

در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۶

بررسی تغییرات سطح بستر آبی شوره‌زار قزوین-البرز (۶۳۸۹۴ هکتار) نشان می‌دهد (شکل ۳ و جدول ۳) که در سال‌های قبل از احداث زهکش (۱۳۸۸) که شامل سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ می‌باشد، مساحت بستر آبی به ترتیب ۸۹۲۲/۳۶، ۲۸۴۴/۰۲ و ۱۱۳۵/۲۸ هکتار بوده که این مساحت در سال‌های بعد از احداث زهکش یعنی سال‌های ۱۳۹۷، ۱۴۰۱ و

۱۴۰۲ به ترتیب به ۹۲۱/۰۱، ۴۰۹/۳۸ و ۱۶۷/۵۴ هکتار کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد درصد مساحت بستر آبی (از کل منطقه مورد مطالعه) که در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۱ و ۱۳۸۷ به ترتیب ۱۳/۱۹، ۴/۴۵ و ۱/۷ درصد بوده، در سال‌های ۱۳۹۷، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب به ۱/۴۴، ۰/۶۴ و ۰/۲۶ درصد کاهش یافته است. در همین راستا احداث زهکش منجر به تجمع آب در محل سرریزهای عبوری تعبیه‌شده، گردیده است. این در حالی است که این محل در سال‌های قبل از احداث زهکش، قسمت‌های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه بوده است.



شکل ۳- تغییرات بستر آبی شوره‌زار قزوین-البرز در بازه زمانی ۱۳۶۶-۱۴۰۲

Figure 3- Changes in the water bodies of Qazvin-Alborz salt land between 1987 and 2023

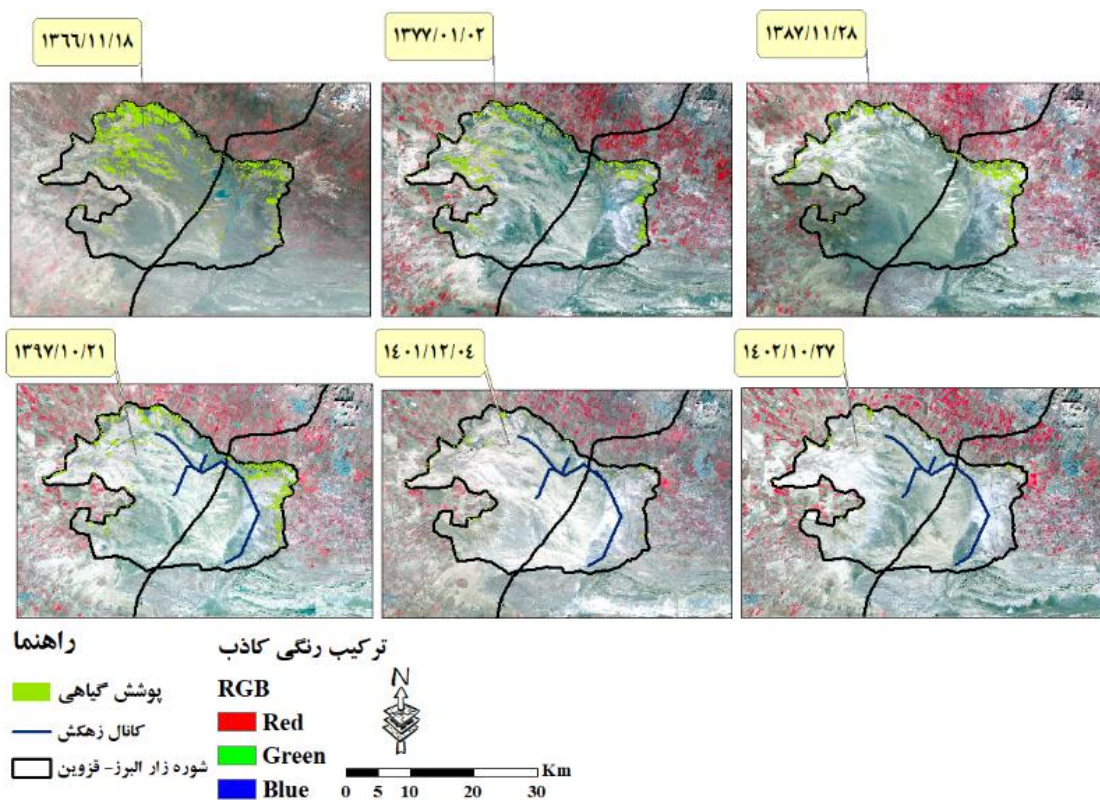
جدول ۲- تغییرات بستر آبی شوره‌زار قزوین-البرز در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۶

Table 2- Changes in the water bodies of Qazvin-Alborz between 1987 and 2023

تاریخ خورشیدی	مساحت بستر آبی (هکتار)	مساحت آبیگیری شده از کل منطقه (%)
1366.11.18	8922.36	13.19
1377.01.02	2844.02	4.45
1378.11.28	1135.28	1.78
1397.10.21	921.01	1.44
1401.12.04	409.38	0.64
1402.10.28	167.54	0.26

۷۱۹۶/۵۶، ۴۲۹۳/۶۲ و ۳۵۷۶/۵۰ هکتار از سطح منطقه مورد مطالعه را در برگرفته است که این مساحت‌ها به ترتیب حدود ۱۱/۲۶، ۶/۲۳ و ۵/۶ درصد از این منطقه را شامل می‌شود. در سال‌های بعد از احداث زهکش یعنی سال‌های ۱۳۹۷، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۳۳۳۷/۱۲، ۵۱۴/۶۴ و ۴۷۳/۶۱ هکتار از سطح منطقه را در برگرفته است که به ترتیب حدود ۵/۲۲، ۰/۸۱ و ۰/۷۴ درصد از سطح منطقه را شامل می‌شود.

بررسی تغییرات پوشش گیاهی شوره‌زار قزوین-البرز در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۶
 بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی شوره‌زار قزوین - البرز با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۶ در شکل ۴ و جدول ۳ آورده شده است. بر اساس این نتایج روند تغییرات پوشش گیاهی نشان داد که در سال‌های قبل از احداث زهکش یعنی سال ۱۳۶۶، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ به ترتیب حدود



شکل ۴: تغییرات پوشش گیاهی شوره‌زار قزوین-البرز در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۶

Figure 4- Changes in the vegetation cover Qazvin-Alborz salt land between 1987 and 2023

کرد. از طرفی دیگر تغییرات بالادست تالاب از جمله سدسازی‌های موجود و تغییر مسیر آب و همچنین ایجاد زهکش در تالاب که مانع رسیدن آب به قسمت‌های مختلف تالاب شده است، که باعث کاهش و یا حذف پوشش گیاهی در این منطقه شده است.

نتایج مربوط به تبیین پیشران‌های کلیدی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در تالاب صالحیه و شوره‌زار دشت مرکزی قزوین نشان از تأثیر جدی فعالیت‌های انسانی بر وضع موجود تالاب داشته که این ظرفیت طبیعی ارزشمند را به کانونی برای تولید گردوغبار و به یک تهدید جدی برای استان‌های هم‌جوار تبدیل کرده است. در این میان ضایع‌شدن حقایق تالاب در اثر احداث سد کینه‌ورس روی رودخانه ابهررود، احداث بند انحرافی روی رودخانه کردان جهت تغذیه مصنوعی دشت هشتگرد و احداث سد انحرافی روی رودخانه زیاران نقش مهمی در اختلال چرخه هیدرولوژیکی این تالاب داشته است. همچنین، اجرای پروژه‌های عمرانی درون (احداث زهکش) و حاشیه تالاب (احداث آزادراه آبیک - چرمشهر و تأسیس فرودگاه آزادی و توسعه اراضی کشاورزی)، مزید بر علت، تهدیدی جدی بر امنیت حیات وحش تالاب، تخریب و انزوای اکولوژیکی و جغرافیایی آن می‌باشند. احداث زهکش به طول ۴۵ کیلومتر در سال ۱۳۸۸ با هدف جمع‌آوری زهاب و کاهش سطح آب زیرزمینی و آزادسازی اراضی کشاورزی و جلوگیری از پیشروی نمک اجرا گردیده است، اما در نهایت به کانالی برای خروج آب از تالاب تبدیل گردیده است. همچنین احداث مسیر دسترسی و همچنین روگذرهایی به منظور انتقال آب در حاشیه و روی کانال زهکش، دسترسی بیشتر دامداران و شکارچیان را باعث گردیده و بر جمعیت دام مازاد چراکننده در آن محدوده به ویژه شتر افزوده است. ورود پساب شهرک صنعتی نظرآباد نیز در سال‌های گذشته عامل مخرب دیگر محسوب می‌گردد. در همین زمینه مطالعات Qu و همکاران (۲۰۲۳) در تالاب دشت سانجیانگ چین نشان داد تغییرات کاربری زمین و در

نتیجه آن، اختلال در چرخه هیدرولوژیکی تالاب، تنوع زیستی آن را با خطر جدی مواجه ساخته است.

Konar و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعات خود به این نتیجه دست یافتند که چرخه هیدرولوژیکی مهمترین نقش را در حفاظت از تنوع زیستی دشت‌های سیلابی بر عهده دارند. هرچند نباید از این نکته غافل بود که جدا از فعالیت‌های انسانی، نقش تغییرات اقلیمی در رابطه با آورد آبی تالاب معنی‌دار بوده و می‌تواند هدف مطالعه‌ای مجزا قرار گیرد. در همین زمینه مطالعات Wang و همکاران (۲۰۲۳) نقش معنی‌دار تغییرات اقلیمی در خشکیدگی دو تالاب ابینور و بوستن در شمال و جنوب سین کیانگ چین به اثبات رسانده‌اند. در کنار مسائل مطرح‌شده در خصوص فعالیت‌های انسانی، موضوع بهره‌برداری بیش از حد مجاز از سفره آب زیرزمینی محدوده تالاب، افت ۲۸ متری تراز آبی دشت و افزایش شوری آن را در ۴۰ سال گذشته به همراه داشته است. در این میان عدم خروج آب از دشت به علت کمی آب رودهای خررود، حاجی عرب و ابهررود نیز، سبب بالا آمدن سطح آب و باتلاقی شدن سطح تالاب در بخش جنوب‌شرقی آن شده است. در ادامه آبیاری اراضی کشاورزی با استفاده از آب‌های شور منجر به شوری خاک شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بررسی روند و تبیین پیشران‌های کلیدی مؤثر در وضعیت پیشروی تالاب صالحیه، لازمه هرگونه برنامه‌ریزی آتی برای مدیریت و نجات تالاب در آینده خواهد بود. همچنین اختلال در چرخه هیدرولوژیک تالاب بر اثر احداث سد روی رودخانه‌های اصلی منتهی به تالاب، احداث زهکش، توسعه خطوط مواصلاتی، احداث تأسیسات، فشار چرای دام و در یک کلام عدم رعایت اصول مدیریت پایدار سرزمین به عنوان پیشران‌های کلیدی وضع موجود تالاب شناخته می‌شوند. در این میان، ناهنجاری‌های اقلیمی نیز طی دو دهه اخیر، مزید بر علت، بر شدت اثرات تخریب افزوده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد هرگونه مطالعه،

صورت پذیرد. همچنین برای بررسی دقیق‌تر در خصوص تغییرات بسترهای آبی و پوشش گیاهی تالاب پیشنهاد می‌گردد از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیکی مناسب‌تر مانند تصاویر سنتینل ۱ و ۲ استفاده گردد.

تحقیق یا اقدام در جهت مهار و کنترل کانون بحرانی گردوغبار تالاب صالحیه و شوره‌زار دشت قزوین مبتنی بر تعدیل اثرات اقدامات انسانی فوق‌الذکر تا حد امکان، کنترل چرای دام و احیای پوشش گیاهی تالاب، با تأکید بر انسجام سازمانی و مشارکت اجتماعات محلی

References

- Amani, M., Mahdavi, S., Kakooei, M., Ghorbanian, A., Brisco, B., DeLancey, E.R., Toure, S., & Reyes, E.L. (2021). Wetland change analysis in Alberta, Canada using four decades of landsat imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 10314-10335. <https://doi.org/1109/JSTARS.2021.3110460>
- Arekhi, M., Goksel, C., Balik Sanli, F., & Senel, G. (2019). Comparative evaluation of the spectral and spatial consistency of sentinel-2 and landsat-8 oli data for igneada longos forest. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), <https://doi.org/10.3390/ijgi8020056>
- Bagherpour, M., Tabatabaie, F., Zare, S., Nazari Samani, A.A., & Ghoohestani, G. (2023). Evaluating the changes in the water body of Salehiyeh wetland caused by the construction of drainage. *Journal of Arid Biome*, 13(2), 107-123. <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2024.20315.1942> (In Persian)
- Berdugo, M., Gaitán, J.J., Delgado-Baquerizo, M., Crowther, T.W., & Dakos, V. (2022). Prevalence and drivers of abrupt vegetation shifts in global drylands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(43), e2123393119. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.2123393119>
- Boroughani, M., Pourhashemi, S., Hashemi, H., Salehi, M., Amirahmadi, A., Asadi, M.A.Z., & Berndtsson, R. (2020). Application of remote sensing techniques and machine learning algorithms in dust source detection and dust source susceptibility mapping. *Ecological Informatics*, 56, 101059. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101059>
- Brahim, Y.Z., Balzter, H., Kaduk, J., & Tucker, C.J. (2015). Land Degradation Assessment Using Residual Trend Analysis of GIMMS NDVI3g, Soil Moisture and Rainfall in Sub-Saharan West Africa from 1982 to 2012. *Remote Sensing*, 7(5), 5471-5494. <https://doi.org/10.3390/rs70505471>
- Cimon-Morin, J., & Poulin, M. (2018). Setting conservation priorities in cities: approaches, targets and planning units adapted to wetland biodiversity and ecosystem services. *Landscape Ecology*, 33(11), 1975-1995. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0707-z>
- Darvand, S., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., & Khosravi, H. (2021). Prediction of the change trend of temperature and rainfall in the future period and its impact on desertification. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(1), 53-66. <https://doi.org/10.22098/mmws.2021.1181>
- Darvishi Bolorani, A., Najafi, M.S., Soleimani, M., Papi, R & Torabi, O. (2022). Influence of Hamoun Lakes' dry conditions on dust emission and radiative forcing over Sistan plain, Iran. *Atmospheric Research*, 272, 106152. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106152>
- Darvishi Bolorani, A., Soleimani, M., Papi, R., Nasiri, N., Neysani Samany, N., Mirzaei, S., & Al-Hemoud, A. (2024). Assessing the role of drought in dust storm formation in the Tigris and Euphrates basin. *Science of The Total Environment*, 921, 171193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171193>
- Eskandari Damaneh, H., Barkhori, S., Azhdari, Z., Navaki, A., Eskandari Damaneh, H., & Khosravi, H. (2023). Monitoring the spatial and temporal changes of floods and water bodies using indicators extracted

- from the Landsat satellite (Case study: Southwest Iran). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 49-62. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2007585.1094> (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Khosravi, H., Mahdavi Najafabadi, R., Khoorani, A., & Li, G. (2020). Modeling spatial and temporal changes in land-uses and land cover of the Urmia Lake Basin applying Cellular Automata and Markov Chain. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(2), 57-72. <https://doi.org/10.22126/ges.2020.5303.2238>
- Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H., Habashi, K., Eskandari Damaneh, H., & Tiefenbacher, J.P. (2022a). The impact of land use and land cover changes on soil erosion in western Iran. *Natural Hazards*, 110(3), 2185-2205. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05032-w>
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivan, H., & Barati, A. (2022b). Investigating the Influence of Drought on Trend of Vegetation Changes in Arid and Semiarid Regions, Using Remote Sensing Technique: A Case Study of Hormozgan province). *Desert Ecosystem Engineering*, 9(28), 13-28. <https://doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.11> (In Persian)
- Ge, X., Ding, J., Teng, D., Wang, J., Huo, T., Jin, X., Wang, J., He, B., & Han, L. (2022). Updated soil salinity with fine spatial resolution and high accuracy: The synergy of Sentinel-2 MSI, environmental covariates and hybrid machine learning approaches. *CATENA*, 212, 106054. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106054>
- Ghoochani, O.M., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Ghanian, M., Cotton, M. (2023). Why Do Farmers Over-Extract Groundwater Resources? Assessing (Un)sustainable Behaviors Using an Integrated Agent-Centered Framework. *Environments*, 10(12), 216. <https://doi.org/10.3390/environments10120216>
- Konar, M., Jason Todd, M., Muneeppeerakul, R., Rinaldo, A., & Rodriguez-Iturbe, I. (2013). Hydrology as a driver of biodiversity: Controls on carrying capacity, niche formation, and dispersal. *Advances in Water Resources*, 51, 317-325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.02.009>
- Konar, M., Muneeppeerakul, R., Azaele, S., Bertuzzo, E., Rinaldo, A., & Rodriguez-Iturbe, I. (2010). Potential impacts of precipitation change on large-scale patterns of tree diversity. *Water Resources Research*, 46(11), W11515. <https://doi.org/10.1029/2010WR009384>
- Li, B., Hu, Y., Chang, Y., Liu, M., Wang, W., Bu, R., Shi, S., & Qi, L. (2021). Analysis of the factors affecting the long-term distribution changes of wetlands in the Jing-Jin-Ji region, China. *Ecological Indicators*, 124, 107413. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107413>
- Li, C., Fu, B., Wang, S., Stringer, L. C., Wang, Y., Li, Z., Liu, Y., & Zhou, W. (2021). Drivers and impacts of changes in China's drylands. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(12), 858-873. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00226-z>
- Miao, L., Ye, P., He, B., Chen, L., & Cui, X. (2015). Future climate impact on the desertification in the dry land Asia using AVHRR GIMMS NDVI3g data. *Remote Sensing*, 7(4), 3863-3877. <https://doi.org/10.3390/rs70403863>
- Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G., & Sehatkashani, S. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric Environment*, 173, 265-276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.016>
- Qu, Y., Zeng, X., Luo, C., Zhang, H., & Ni, H. (2023). Prediction of wetland biodiversity pattern under the current land-use mode and wetland sustainable management in Sanjiang Plain, China. *Ecological Indicators*, 147, 109990. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109990>
- Rashki, A., Middleton, N. J., & Goudie, A. S. (2021). Dust storms in Iran – Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, 100655. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>

- Simioni, J.P.D., Guasselli, L.A., & Etchelar, C.B. (2017). Connectivity among wetlands of EPA of Banhado Grande, RS. *Rbrh*, 22 .
- Skndari Dameneh, H., Khosravi, H., & Abolhasani, A. (2019). Assessing the effect of land use changes on groundwater quality of Zarand Plain using satellite images and geostatistical. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20), 67-82.
<https://doi.org/10.22111/jneh.2018.22276.1324>
- Uossef Gomrokchi, A., Hassanoghli, A., Akbari, M., Mostashari mohasses, M., & Amini, D. (2022). Prediction of Soil Salinity Using Neural Network and Multivariate Regression Based on Remote Sensing Indices and Comparison: A Case Study of Qazvin plain's Salt Marsh. *Desert Ecosystem Engineering*, 9(28), 73-88.
<https://doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.51> (In Persian)
- Wang, R., Ding, J., Ge, X., Wang, J., Qin, S., Tan, J., Han, L., & Zhang, Z. (2023). Impacts of climate change on the wetlands in the arid region of Northwestern China over the past 2 decades. *Ecological Indicators*, 149, 110168.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110168>
- Xiong, J., Sheng, X., Wang, M., Wu, M., & Shao, X. (2022). Comparative study of methane emission in the reclamation-restored wetlands and natural marshes in the Hangzhou Bay coastal wetland. *Ecological Engineering*, 175, 106473.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106473>

Content

Presenting a process-based model for integrated watershed management in Iran

Hossin Mosaferi Zeyaaldine, Ehsan Tamassoki, Seyed Mohamad Tajbaskhsh Fakhrabadi,
Aliasghar Kadivar, Mehdi Biniiaz, Nasser Khayyat Kholghi

1-17

Drought induced vegetation changes in south of Kerman Province

Saeid Barkhori, Mojtaba Dolatkordestani, Kimia Javaheri

18-31

Streamflow forecasting under the impacts of climate change based on the combined output of CMIP6 models (Case study: Dez Dam)

Fahimeh Khadempour, Mahdi Amirabadizadeh, Yashar Falamarzi

32-50

Spatial analysis of cultural ecosystem services for sustainable land-use planning in Chaharmahal-Bakhtiari Province

Fatemeh Mohammadyari, Khodayar Abdollahi

51-65

Spatial variability of throughfall pattern in natural and afforested stands of the Zagros forests: A case study in Choqasabz forest park, Ilam

Esmail Allahinezhad, Mehdi Heydari, Javad Mirzaei, Omid Fathizadeh

66-80

Investigating the trend and explaining the key drivers of desertification and land degradation in Salehiyeh wetland and Qazvin salt plain

Hadi Eskandari Damaneh, Yaser Ghasemi Aryan

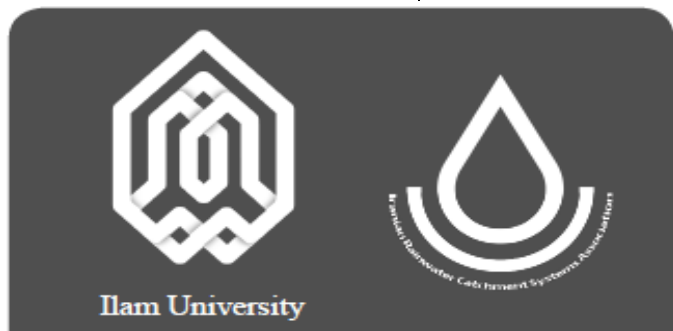
81-93



Integrated Watershed Management

Vol: 4, No: 4. Winter 2025

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



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: 4, No: 4. Winter 2025

Online ISSN: 2783-4581

Presenting a process-based model for integrated watershed management in Iran

Hossin Mosaferi Zeyaaldine, Ehsan Tamassoki, Seyed Mohamad Tajbaskhsh Fakhrabadi,
Aliasghar Kadivar, Mehdi Biniiaz, Nasser Khayyat Kholghi

1-17

Drought induced vegetation changes in south of Kerman Province

Saeid Barkhori, Mojtaba Dolatkordestani, Kimia Javaheri

18-31

Streamflow forecasting under the impacts of climate change based on the combined output of CMIP6 models (Case study: Dez Dam)

Fahimeh Khadempour, Mahdi Amirabadizadeh, Yashar Falamarzi

32-50

Spatial analysis of cultural ecosystem services for sustainable land-use planning in Chaharmahal-Bakhtiari Province

Fatemeh Mohammadyari, Khodayar Abdollahi

51-65

Spatial variability of throughfall pattern in natural and afforested stands of the Zagros forests: A case study in Choqasabz forest park, Ilam

Esmail Allahinezhad, Mehdi Heydari, Javad Mirzaei, Omid Fathizadeh

66-80

Investigating the trend and explaining the key drivers of desertification and land degradation in Salehiyeh wetland and Qazvin salt plain

Hadi Eskandari Damaneh, Yaser Ghasemi Aryan

81-93