



مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

بررسی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های بیابان‌زدایی (مطالعه موردی: شهرستان گرمسار)

پوریا قباخلو، محمدکیا کیانیان، امین صالح پورجم، شیما نیکو

۱-۱۳

مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهدر

۱۴-۲۹

مهدی تیموری، اصغر بیات، علی شهبازی، امید اسدی نلیوان

شبیه‌سازی سناریوهای تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)

۳۰-۵۱

پروین محمدی، آرش ملکیان، علی سلاجقه، مجتبی نوری، حامد رفیعی

ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت‌های خراسان رضوی)

غلامحسین اکبری، رضا براتی، ایمان لطفی، میلاد سیفی

۵۲-۶۷

ارزیابی ارزش گردشگری زمین‌سازه‌های مناطق خشک (مطالعه موردی: گنبد‌های نمکی استان سمنان)

۶۸-۸۲

منصوره درمحمدی، هابده آرا، محمدکیا کیانیان، امین صالح پورجم

مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند)

۸۳-۱۰۴

عباسعلی رضاپور، سعید دیمه ور



مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال چهارم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

۴۵۸۱-۲۷۸۳

دانشگاه ایلام با همکاری انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبخیز ایران

دکتر نورالدین رستمی

دکتر حاجی کریمی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

دکتر مهدی حیدری

دکتر نورالدین رستمی

دکتر نورالدین رستمی، دکتر رضا امیدپور

دکتر رضا امیدپور

شاپا الکترونیکی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای هیأت تحریریه

مدیر داخلی

ویراستار انگلیسی

ویراستار فارسی

صفحه آرا و طراح جلد

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

تلفکس: ۰۸۴۳۲۲۲۲۷۰۳

صندوق پستی: ۵۱۶-۶۹۳۱۵

پست الکترونیک: iwm@ilam.ac.ir

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



بررسی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های بیابان‌زدایی (مطالعه موردی: شهرستان گرمسار)

پوریا قباخلو، محمدکیا کیانیان، امین صالح پورجم، شیما نیکو

۱-۱۳

مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهدر

مهدی تیموری، اصغر بیات، علی شهبازی، امید اسدی نلیوان

۱۴-۲۹

شبیه‌سازی سناریوهای تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)

پروین محمدی، آرش ملکیان، علی سلاجقه، مجتبی نوری، حامد رفیعی

۳۰-۵۱

ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت‌های خراسان رضوی)

غلامحسین اکبری، رضا براتی، ایمان لطفی، میلاد سیفی

۵۲-۶۷

ارزیابی ارزش گردشگری زمین‌سازه‌های مناطق خشک (مطالعه موردی: گنبد‌های نمکی استان سمنان)

منصوره درمحمدی، هایده آرا، محمدکیا کیانیان، امین صالح پورجم

۶۸-۸۲

مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند)

عباسعلی رضاپور، سعید دیمه ور

۸۳-۱۰۴

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 پژوهش وی 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 environment*. London: Routledge.

ب) کتاب ترجمه شده

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

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

ج) مقالات نشریات

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

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

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

Rostami (۲۰۱۴) گزارش کرد

Mohseni Saravi و Rostami (۲۰۰۶) گزارش کردند

Rostami و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند

۲-۱۱. منابع پایانی

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

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

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

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

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

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

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

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

د) نمونه تنظیم یک سند از یک کنفرانس

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

۳. شکل ظاهری مقاله

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

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

۳-۳. شکل‌ها و جدول‌ها

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

Rostami, N., Sohrabi, T. & Kazemi, Y. (2021). Stability Analysis of Flood Spreading Systems in Arid Regions, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45, 1819-1829. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00424-7>

Rostami, N. & Fathizad, H. (2021). Spatial and temporal changes of land uses and its relationship with surface temperature in western Iran. *Atmosfera*. <https://doi.org/10.20937/ATM.52985>

د) پایان‌نامه و رساله

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

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

ه) مجموعه مقالات

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

و) کتاب منتشر شده در سازمان‌ها یا نهادها

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

ز) وبگاه اینترنتی

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

۴. ارسال مقاله

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

۵. پیگیری فرایند انتشار مقاله

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

مجموعه مقالات



Investigating factors affecting the non-sustainable participation of rural communities in desertification projects (Case study: Garmsar city)

Pouria Qoobakhlo¹, Mohammadkia Kianian^{1*}, Amin Salehpour Jam², Shima Nikoo¹

1- Combat Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran

2- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

* Corresponding author: m.kianian@semnan.ac.ir

(Received: 27 Desember 2023

Revised: 26 February 2024

Accepted: 30 March 2024)

Extended Abstract

Introduction: The human environment has experienced significant changes due to issues such as industrial development, technological advancement, population growth, and unsustainable extraction of non-renewable resources. Natural resource management includes the coordination of human interactions with the natural environment. Desertification is a complex issue, which is caused by both natural processes and human actions. This includes land degradation due to various factors such as wind and water erosion, destruction of vegetation and reduction of water resources. The purpose of this research is to identify the criteria and indicators affecting the non-sustainable participation of rural communities in desertification projects, to prioritize these criteria and indicators based on the opinion of experts and to provide solutions to increase the participation of local stakeholders.

Materials and methods: Garmsar, which is located in the west of Semnan province, is one of its eight cities. The communities of this research, the villages of Ghiyath Abad, Shorkazi and Mohsen Abad are part of Garmsar city, which have desertification plans. Several factors are involved in the non-participation of people in desertification projects, which can be classified in the form of relevant criteria and indicators. These factors are identified and classified based on library studies, questions from regional experts. In order to prioritize the criteria and indicators effective in the non-participation of people in desertification projects, respectively, questionnaires related to the process of hierarchical analysis (AHP) and a questionnaire with a Likert scale were used as measurement tools. Also, before prioritizing the criteria of the relevant indicators, the validity of the questionnaire was approved by the experts. In this research, there will be a survey of experts from the departments of forestry, watershed management, pasture and desert, land assessment, etc., of the general natural resources department of the province and Garmsar city, with an experience of more than 15 years. After completing the hierarchical analysis questionnaires by 30 expert experts, the hierarchical analysis process was used to prioritize the effective criteria on people's non-participation in desertification projects. Finally, Friedman's test was used to prioritize the indicators and determine their relative importance on people's non-participation in the basin depopulation projects.

Results and Discussion: According to the results, the educational criterion is the most important criterion of people's non-participation in desertification projects from the point of view of experts (0.48), and the planning (0.29), economic (0.13) and social (0.07) criteria are in the next stages. are priority. From the point of view of experts, the index of "non-use of local promoter groups", with an average rank of 11.72, has the highest relative priority, and the index of "lack of trust in the results of projects" with an average rank of 6.15, has a lowest relative priority in the non-participation of people in the desertification projects of the region. Regarding the findings related to barriers to participation in Ghiyathabad village, the index of "non-use of local promoter groups" was identified as the first priority with a rank of 10.73. In the case of Mohsen Abad village, the index of "weak role of local media in promoting desertification projects and encouraging community participation" has been assigned the highest priority with a rating of 10.50. Also, the findings of Shur Ghazi village show that the index of "low level of literacy in the local community" with a rank of 9.88 is a major concern.

Conclusions: In general, the successful implementation of desertification projects relies heavily on achieving maximum participation of local residents during the implementation and maintenance phases. This research was carried out with the aim of identifying factors affecting the non-participation of villagers in desertification projects. As a result, experts emphasize the importance of education and increasing public awareness to increase participation. Related educational videos, as well as visiting successful projects in other regions, accompanied by elders and members of the village council, and sharing their field experiences and observations with the villagers will increase their knowledge and awareness about the employment capacities in this project. It will be In addition, such initiatives will help reduce the adverse effects of floods, dust storms and droughts, thereby improving the overall well-being of residents.

Key words: desertification, AHP, index, Friedman, participation.

Citation: Qoobakhlo, P., Kianian Golareshani, M. K., Salehpour Jam, A., & Nikoo, S. (2024). Investigating factors affecting the non-sustainable participation of rural communities in desertification projects (Case study: Garmsar city). *Integrated Watershed Management*, 4(3), 1-13. doi: 10.22034/iwm.2024.2018909.1121

Copyrights:

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



بررسی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های بیابان‌زدایی (مطالعه موردی: شهرستان گرمسار)

پوریا قباخلو^۱، محمدکیا کیانیان^{۱*}، امین صالح پورجم^۲، شیما نیکو^۱

۱- گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

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

*نویسنده مسئول: m_kianian@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

چکیده مبسوط

مقدمه: محیط پیرامون انسان به دلیل مسائلی مانند توسعه صنعتی، پیشرفت تکنولوژی، رشد جمعیت و استخراج ناپایدار منابع تجدیدناپذیر، تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است. در میان منابع طبیعی تجدیدپذیر، جنگل‌ها همیشه نقش حیاتی ایفا کرده‌اند و از طریق فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری بی‌رویه، به ویژه جوامع جنگل‌نشین را تحت تأثیر قرار داده‌اند و تخریب قابل توجهی را متحمل شده‌اند. مدیریت منابع طبیعی شامل هماهنگی تعاملات انسان با محیط طبیعی است. این شامل تخریب زمین در اثر عوامل مختلفی مانند فرسایش بادی و آبی، تخریب پوشش گیاهی و کاهش منابع آب است. هدف از این پژوهش شناسایی معیارها و شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های بیابان‌زدایی، اولویت بندی این معیارها و شاخص‌ها بر اساس نظر کارشناسان و ارائه راهکارهایی برای افزایش مشارکت ذی نفعان محلی است.

مواد و روش‌ها: گرمسار که در غرب استان سمنان قرار دارد، یکی از هشت شهرستان آن است. جوامع این پژوهش، روستاهای غیاث آباد، شورقاسی و محسن‌آباد از توابع شهرستان گرمسار هستند، که دارای طرح بیابان‌زدایی هستند. عوامل متعددی بر عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی دخالت دارند، که این عوامل قابل طبقه‌بندی در قالب معیارها و شاخص‌های مربوطه‌اند. این عوامل مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، پرسش از کارشناسان منطقه مشخص گردیده و طبقه‌بندی می‌شوند. به منظور اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های مؤثر در عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی، به ترتیب از پرسش‌نامه‌های مرتبط با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نیز پرسشنامه با طیف لیکرت به عنوان ابزار اندازه‌گیری استفاده گردید. همچنین، پیش از اولویت‌بندی معیارها شاخص‌های مربوطه، روایی پرسش‌نامه به تایید خبرگان رسید. در این پژوهش از کارشناسان ادارات جنگلداری، آبخیزداری، مرتع و بیابان، استعدادیابی اراضی و برخی از کارشناسان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سمنان و کارشناسان اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان گرمسار با سابقه بالای ۱۵ سال نظرسنجی صورت گرفت. پس از تکمیل پرسشنامه‌های تحلیل سلسله مراتبی توسط ۳۰ نفر از کارشناسان خبره، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت بندی معیارهای مؤثر بر عدم مشارکت مردم در طرح‌های بیابان‌زدایی استفاده شد. در نهایت، از آزمون فریدمن برای اولویت‌بندی شاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی آنها بر عدم مشارکت مردم در طرح‌های کاهش جمعیت حوضه استفاده شد.

نتایج و بحث: طبق نتایج، معیار آموزشی، مهم‌ترین معیار عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی از دیدگاه کارشناسان (۰/۴۸) می‌باشد و معیارهای برنامه‌ریزی (۰/۲۹)، اقتصادی (۰/۱۳) و اجتماعی (۰/۰۷) در مراحل بعدی اولویت قرار دارند. از دیدگاه کارشناسان، شاخص «عدم استفاده از گروه‌های مروج محلی» با میانگین رتبه ۱۱/۷۲، بیشترین اولویت نسبی و شاخص «عدم اعتماد به نتایج پروژه‌ها» با میانگین رتبه ۶/۱۵، کمترین اولویت نسبی را در عدم مشارکت مردم در طرح‌های بیابان‌زدایی منطقه دارد. با توجه به یافته‌های مربوط به موانع مشارکت در روستای غیاث آباد، شاخص «عدم استفاده از گروه‌های مروج محلی» با رتبه ۱۰/۷۳ در اولویت اول قرار گرفت. در مورد روستای محسن آباد نیز شاخص «نقش ضعیف رسانه‌های محلی در پیشبرد طرح‌های بیابان‌زدایی و تشویق مشارکت جامعه» با رتبه ۱۰/۵۰، بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است. همچنین یافته‌های روستای شور قاسی نشان می‌دهد، که شاخص «پایین بودن سطح سواد در جامعه محلی» با رتبه ۹/۸۸ نگرانی اصلی است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، اجرای موفقیت آمیز پروژه‌های بیابان‌زدایی به شدت متکی بر دستیابی به حداکثر مشارکت ساکنان محلی در مراحل اجرا و نگهداری است. این پژوهش با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت روستاییان در طرح‌های بیابان‌زدایی انجام شد. در نتیجه کارشناسان بر اهمیت آموزش و افزایش آگاهی عمومی برای افزایش مشارکت تاکید دارند. ویدئوهای آموزشی مرتبط و همچنین بازدید از پروژه‌های موفق در سایر مناطق با همراهی ریش سفیدان و اعضای شورای روستا و به اشتراک گذاشتن تجربیات و مشاهدات میدانی خود با اهالی روستا باعث افزایش دانش و آگاهی آنان در مورد ظرفیت‌های اشتغال در این پروژه‌ها می‌شود. علاوه بر این، چنین ابتکاراتی به کاهش اثرات نامطلوب سیل، طوفان‌های گرد و غبار و خشکسالی کمک خواهد کرد و در نتیجه رفاه کلی ساکنان را بهبود می‌بخشد.

کلیدواژه: بیابان‌زدایی، AHP، شاخص، فریدمن، مشارکت.

استناد: قباخلو، پ.، کیانیان، م.، صالح پورجم، ا. و نیکو، ش. (۱۴۰۳). بررسی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های بیابان‌زدایی (مطالعه موردی: شهرستان گرمسار). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۳)، ۱-۱۳.



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

مقدمه

محیط پیرامون انسان به دلیل مسائلی مانند توسعه صنعتی، پیشرفت تکنولوژی، رشد جمعیت و استخراج ناپایدار منابع تجدیدنپذیر، تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است. تهدید اکوسیستم‌های بیابانی از تهدید سایر اکوسیستم‌ها فراتر رفته و بیابان‌زایی به‌عنوان یک خطر بزرگ طبیعی و بحران اکولوژیکی مطرح است (Vali *et al.*, 2018; Savari *et al.*, 2020; Savari *et al.*, 2022). ایجاد یک تعادل دقیق بین استفاده و حفاظت از منابع طبیعی و مزایایی که آن‌ها ارائه می‌دهند، بسیار مهم است. مدیریت منابع طبیعی، شامل هماهنگی تعاملات انسانی با محیط طبیعی می‌باشد (Sheikh *et al.*, 2020). بیابان‌زایی پدیده‌ای چندوجهی است، که در اثر ترکیبی از عوامل طبیعی و اعمال نادرست انسان پدید می‌آید. طبق تعریف، به کاهش بهره‌وری زمین ناشی از فرآیندهای مختلفی مانند فرسایش بادی، فرسایش آبی، تخریب پوشش گیاهی و کاهش منابع آبی اشاره دارد. این فرآیندها می‌توانند توسط عوامل محیطی یا انسانی تشدید شوند (Sadeghi Ravesh & Khosravi, 2019). حوزه‌های آبخیز نقش مهمی در حفظ حیات و حمایت از فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی ایفا می‌کنند. اکنون کارشناسان تشخیص می‌دهند، که حل بحران کنونی منابع طبیعی در کشورهایی که با چالش‌های اقتصادی و اجتماعی مواجه هستند، بدون اذعان به تأثیر چشم‌گیر فعالیت‌های انسانی در این مناطق، غیرممکن است (Savari *et al.*, 2020; Shibusawa *et al.*, 2017). علاوه بر این، عدم مشارکت ذینفعان کلیدی در اجرای پروژه‌های منابع طبیعی و بیابان‌زدایی منجر به کنار گذاشته شدن مسئولین حفاظت از این منابع شده و در نتیجه دانش و تخصص ارزشمند آن‌ها در مراحل مختلف پروژه نادیده گرفته می‌شود؛ بنابراین، اجرای مؤثر و مقرون‌به‌صرفه طرح‌های بیابان‌زدایی، حفاظت از پروژه‌ها و احیای آتی سازه‌ها، مشارکت ذینفعان را در تمامی مراحل اعم از مطالعه، اجرا، نظارت، ارزیابی و

نگهداری مستمر ضروری می‌سازد (Salehpour Jam *et al.*, 2021; Bagdi, 2005; Shayan *et al.*, 2013; Jingling *et al.*, 2010). در زمینه مشارکت اجتماعی از جمله توسعه، کارشناسان مطرحی مانند پروتوس هارکوست، نیلز رولینگ، ران تولن، پیتز اوکلی، رابرت چمبرز، هیولا کاتری، به اهمیت مشارکت اجتماعی و کاربردهای مختلف آن اذعان دارند (Salehpour Jam *et al.*, 2019). در مطالعه‌ی Batey (2017) نشان داده شد، که مشارکت فعال افراد و سازمان‌های مرتبط در مدیریت آبخیزداری می‌تواند تأثیرات مهمی داشته باشد. Barjas و همکاران (2022) در تحقیقی به تحلیل اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت جوامع محلی در طرح‌های منابع طبیعی در منطقه عین خوش، استان ایلام پرداختند. یافته‌های تحقیق نشان داد، که شاخص‌های اقتصادی با میانگین رتبه ۱۱/۲۴ مهم‌ترین و طراحی-اجرایی به همراه زیرشاخص "عدم تخصیص کامل منابع مالی در زمان اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی" با میانگین رتبه ۵/۶۳، مهم‌ترین دلایل عدم مشارکت مردمی در طرح‌ها در منطقه مورد مطالعه است. Salehpourjam و همکاران (2017) در پژوهش خود با عنوان اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت ذینفعان در پروژه‌های مدیریت حوضه رودخانه‌ای: رویکرد دیدگاه کارشناسانه (مطالعه موردی: حوضه‌ای مشرف به شهر تهران)، اولویت‌های مؤثر بر عدم مشارکت را بر اساس چهار شاخص اقتصادی، اجتماعی، انسانی و برنامه‌ریزی بررسی نمودند. یافته‌های به‌دست‌آمده با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نشان داد، که اهمیت شاخص‌ها به ترتیب اقتصادی، برنامه‌ریزی، اجتماعی و انسانی است. Mohammadabadi و Kolahi (2022) در تحقیق مشابه در خراسان رضوی، به این نتیجه دست یافتند، که عواملی مانند سودآوری اقتصادی طرح‌ها، تحصیلات، شغل، تضادهای اجتماعی و جذابیت‌های محیطی تأثیر مهمی در مشارکت مردم در منطقه ایجاد کرده است ($\text{sig} < 0.05$).

شبکه‌های حمل‌ونقل دارد. خسارات ناشی از این پدیده‌ها جبران‌ناپذیر تلقی می‌شود. در مطالعه‌ای توسط Dufera و همکاران (۲۰۲۰) مشخص شد، که ارتقای آگاهی در بین جامعه محلی برای دستیابی به توسعه پایدار در حوضه بسیار مهم است، زیرا بر اساس روش‌های دسترسی به آب در حوضه، درآمد خانوار از تولید محصولات زراعی ۲۶ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، این مطالعه همچنین نشان داد، که بهره‌وری دام، فرصت‌های شغلی و کیفیت محیطی رشد مثبتی را تجربه کرده‌اند. یافته‌های تحقیق Khaleghi (۲۰۲۲) همبستگی قابل‌توجهی را بین مشارکت ذینفعان و عوامل مختلفی از جمله سن، نوع اشتغال، درآمد سالانه (درآمد حاصل از کشاورزی)، تأمین منابع و مشارکت در برنامه‌های آموزشی نشان می‌دهد. محققان استدلال می‌کنند، که توجه ناکافی مقامات به خواسته‌ها و دانش جوامع محلی و همچنین عدم وجود دوره‌های آموزشی و ابتکارات ترویجی، منجر به آگاهی محدود ذینفعان از مسئولیت‌های خود در اجرای طرح‌های مرتعداری شده است. پس از بررسی منابع موجود، مشخص گردید، که تحقیقات محدودی در رابطه با مشارکت ذینفعان در فعالیتهای بیابان‌زدایی در ایران انجام شده است. مطالعات موجود عمدتاً بر ویژگی‌های ذینفعان مانند سن، جنسیت و سواد، با تأکید ویژه بر مشارکت آن‌ها در مراحل مختلف پروژه متمرکز شده‌اند. بر این اساس، علاوه بر عوامل دموگرافیک، در نظر گرفتن دیگر عوامل مؤثر بر مشارکت ذینفعان از قبیل عوامل مدیریتی و آموزشی، می‌تواند نقش مهمی در شناسایی بهتر موانع مشارکت ذینفعان در پروژه‌های بیابان‌زدایی ایفا کند. از این رو، این پژوهش با هدف شناسایی و بررسی عوامل کلیدی مؤثر بر عدم مشارکت افراد از جمله عوامل اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی، آموزشی و ترویجی طبق نظر کارشناسان و خبرگان در روستاهای غیاث‌آباد، شورشاقی و محسن‌آباد شهرستان گرمسار انجام شده است.

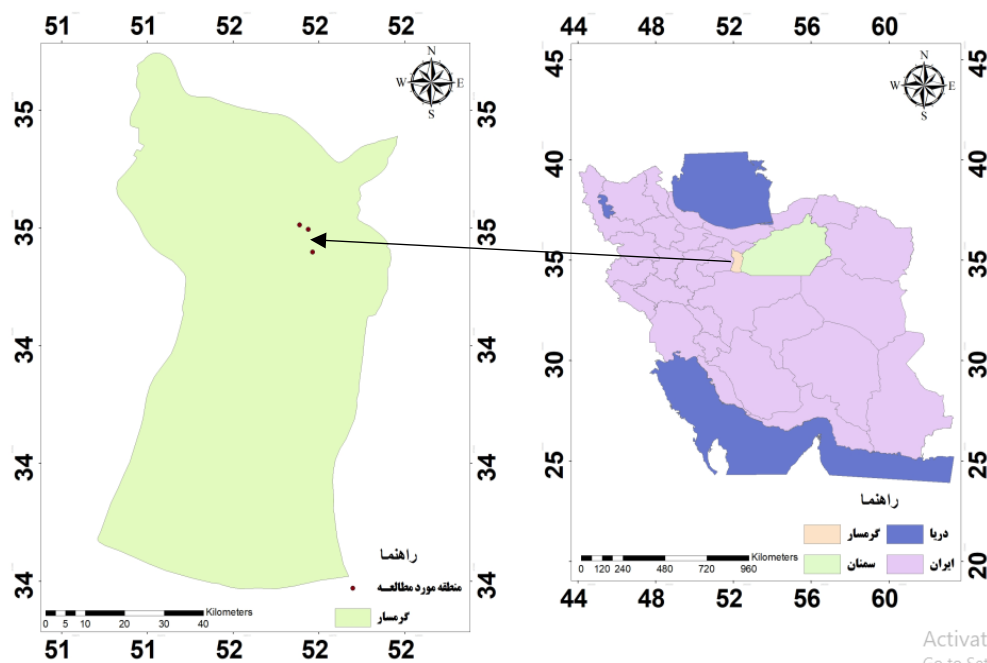
یک گام مهم در مدیریت مشارکت مردم در آبخیزداری و حصول اطمینان از ساماندهی مؤثر حوزه آبخیز، اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌هایی است، که بر عدم مشارکت تأثیر می‌گذارد. با درک عوامل و اولویت‌های مربوطه، می‌توان برای رفع موانع و ارتقای مشارکت ذینفعان اقداماتی انجام داد. در استان‌های مختلف کشور، ساکنان حوضه نقش به‌سزایی در مدیریت همه‌جانبه و کارآمد حوزه‌های آبخیز اعم از جنگل‌ها، مراتع و به‌طور کلی اداره منابع طبیعی ایفا می‌کنند. Sharma و Sisodia (۲۰۱۶) بر اهمیت پرداختن به مشارکت ذینفعان و غلبه بر موانع در اجرای پروژه‌های منابع طبیعی و بیابان‌زایی تأکید می‌کنند. بی‌توجهی به مشارکت جوامع محلی در طرح‌های متعدد مدیریت منابع طبیعی و آبخیزداری در داخل کشور، منجر به حذف ذینفعان و نگرهبانان اصلی منابع طبیعی شده است. در نتیجه، در استفاده از پتانسیل‌های آن‌ها، از جمله بینش‌های ارزشمند و تخصص فرهیختگان، مدیران اجرایی و دانش بومی، در طول مراحل مختلف تحلیل و اجرای پروژه شکست خورده است (Salehpour Jam *et al.*, 2021). علاوه بر این، کارشناسان به‌طور گسترده موافق هستند، که پرداختن به بحران جاری منابع طبیعی، به‌ویژه در کشورهایی که با چالش‌های اقتصادی و اجتماعی دست‌وپنجه نرم می‌کنند، نیاز به شناسایی مشارکت جمعی جامعه محلی و اتخاذ شیوه‌های مدیریت آبخیز فراگیر دارد. بی‌توجهی به مشارکت جامعه می‌تواند منجر به حاشیه‌نشینی ساکنان حوضه و تشدید کمبود منابع شود. استفاده از قابلیت‌های اجرایی و دانش بومی آن‌ها در مراحل مختلف برنامه‌ریزی و اجرای ابتکارات رویکرد مبتنی بر حوضه ضروری است (Salehpour Jam *et al.*, 2019). Khaleghi (۲۰۲۲) از طریق پرسشنامه و تجزیه‌وتحلیل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) دریافت، که فرسایش بادی و هجوم شن و ماسه، اثرات مخرب شدیدی بر مناطق شهری، شهرک‌ها، زیرساخت‌ها، زمین‌های کشاورزی و

روش کار

منطقه مورد مطالعه

گرمسار که در غرب استان سمنان قرار دارد، یکی از هشت شهرستان آن است. از شمال با شهرستان‌های فیروزکوه و دماوند، از شرق با شهرستان آرادان، از غرب با شهرستان پاکدشت و استان قم و از جنوب با شهرستان آران و بیدگل همسایه است (شکل ۱). گرمسار از نظر جغرافیایی بین ۳۴ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و بین ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این شهر بر روی مخروط آبرفتی حبله‌رود قرار دارد و از سه طرف توسط کوه‌هایی احاطه شده است،

که ضلع جنوبی آن به دلیل وجود بیابانی که تا رشته‌کوه‌های سیاه امتداد یافته، باز است. ارتفاع متوسط گرمسار از سطح دریا ۸۵۶ متر است. میانگین بارندگی سالیانه شهرستان حدود ۱۰۰ میلی‌متر و حداقل و حداکثر دما بین ۸- و ۴۴ درجه سانتی‌گراد است. همچنین میانگین دمای کل ماه‌های سال حدود ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد است. در داخل گرمسار روستاهای متعددی از جمله غیاث‌آباد، شورقازی، محسن‌آباد، نورالدین، ریکان، قاتول، کردوان و غیره وجود دارد، که در این پژوهش تمرکز بر روستاهای غیاث‌آباد، شورقازی و محسن‌آباد است، که برنامه‌های بیابان‌زدایی در دست اجرا دارند.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Map of the study area

۱۵ سال می‌باشند. نتایج به‌دست آمده از پرسشنامه‌ها به تفکیک روستاها در ادامه تشریح گردیده است.

روش تحقیق

شناسایی و اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی

تعداد خانوار ساکن در روستاهای غیاث‌آباد، شورقازی و محسن‌آباد به ترتیب ۲۸۰، ۵۰ و ۱۵۰ خانواده است. جامعه آماری تحقیق نیز، کارشناسان ادارات جنگلداری، آبخیزداری، مرتع و بیابان، استعدادیابی اراضی و برخی از کارشناسان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سمنان و کارشناسان اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان گرمسار با سابقه بالای

آبخیزداری شهرستان گرمسار با سابقه بالای ۱۵ سال نظرسنجی صورت گرفت. در نخستین مرحله، به‌منظور مشخص نمودن اوزان معیارها و شاخص‌های مربوط به هر معیار، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به قرار مراحل زیر استفاده گردید:

۱- تعریف اعداد فازی به‌منظور انجام مقایسات زوجی

و توضیح آن

الف) ایجاد ماتریس مقایسات زوجی

ب) محاسبه نسبت سازگاری

ج) رتبه‌بندی نهایی

در ادامه، هر یک از مراحل شرح داده شده است:

الف) ایجاد ماتریس مقایسات زوجی: مقایسات میان معیارها با استفاده از مقیاس اندازه‌گیری ارائه‌شده توسط Saaty (۱۹۸۰) صورت گرفت، به‌طوری‌که متغیرهای زبانی و مقیاس مربوطه با توجه به اهمیت نسبی معیارها به کار گرفته شدند (جداول ۱ و ۲). در این تحقیق، نخست پرسشنامه فرایند تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر مقایسات زوجی معیارها تهیه و سرانجام از کارشناس خبره نظرسنجی صورت گرفت.

عوامل متعددی بر عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی دخالت دارند، که این عوامل قابل طبقه‌بندی در غالب معیارها و شاخص‌های مربوطه‌اند. این عوامل مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، پرسش از کارشناسان منطقه مشخص و طبقه‌بندی می‌شوند.

اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی از دیدگاه کارشناسان

به‌منظور اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های مؤثر در عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی، به ترتیب از پرسش‌نامه‌های مرتبط با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و پرسشنامه با طیف لیکرت به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری استفاده گردید. همچنین، پیش از اولویت‌بندی معیارها شاخص‌های مربوطه، روایی پرسش‌نامه به تأیید خبرگان رسید.

در این پژوهش از کارشناسان ادارات جنگلداری، آبخیزداری، مرتع و بیابان، استعدادیابی اراضی و برخی از کارشناسان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سمنان و کارشناسان اداره منابع طبیعی و

جدول ۱- متغیرهای زبانی و اعداد قطعی متناظر Saaty (۱۹۸۰)

Table 1- Linguistic variables and corresponding definite numbers of Saaty (1980)

مقدار عددی Value	متغیر زبانی Linguistic variables
1	ترجیح یکسان
2	حداقل ترجیح یکسان و کمی مرج
3	کمی مرجح
4	حداقل کمی مرجح و ترجیح قوی
5	ترجیح قوی
6	حداقل ترجیح قوی و ترجیح خیلی قوی
7	ترجیح خیلی قوی
8	حداقل ترجیح خیلی قوی و کاملاً مرجح
9	کاملاً مرجح

که در آن: RI، نمایه ناسازگاری تصادفی است، که از جدول ۲ به دست می‌آید. CI، نمایه سازگاری است، که از رابطه ۲ قابل محاسبه است (Saaty, 2012).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

که در آن: N، تعداد گزینه‌ها در ماتریس تصمیم (رتبه

ب) محاسبه نسبت سازگاری (CR): در این مرحله، نسبت سازگاری قضاوت‌ها و نیز ماتریس ترکیبی تصمیم با هدف بررسی امکان رتبه‌بندی ترکیبی گزینه‌ها محاسبه گردید (رابطه ۱) (Saaty, 2012).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

ماتریس) و λ_{max} میانگین بردار پایندگی است.

جدول ۲- نمایه‌های ناسازگاری تصادفی Saaty (1980)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49

که در آن: K ، تعداد ستون‌ها یا سؤالات، N ، تعداد سطرها و R_I حاصل جمع رتبه‌ها در ستون زام است. در این حالت، درجه آزادی به صورت $k-1$ است (Mansourfar, 2006).

اولویت‌بندی معیارها با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در شهرستان

گرمسار بر اساس پاسخ کارشناسان

پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های تحلیل سلسله‌مراتبی توسط ۳۰ کارشناس خبره، برای اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. نتایج مربوط به این بخش اعم از نمایه‌های نسبت سازگاری و اوزان نرمال شده محاسباتی معیارها در جدول ۳ ارائه شده است. در این آزمون، معیارهای آموزشی، اقتصادی، اجتماعی و برنامه‌ریزی در روستاهای محسن‌آباد، غیاث‌آباد و شورقازی مورد آزمون قرار گرفت (جدول ۳).

نتایج

طبق نتایج، مقدار نسبت سازگاری محاسبه‌شده (۰/۰۸۶) کمتر از ۰/۱ است ($CR \leq 0.1$)، که موردقبول است. دامنه تغییرات نسبت سازگاری قضاوت‌های کارشناسان خبره نیز بین ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۹ متغیر است، که موردقبول است. معیار آموزشی، مهم‌ترین معیار عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی از دیدگاه کارشناسان (۰/۴۸) است و معیارهای برنامه‌ریزی (۰/۲۹)، اقتصادی (۰/۱۳) و اجتماعی (۰/۰۷) در مراحل بعدی اولویت قرار دارند.

ج) رتبه‌بندی نهایی: در این مرحله رتبه‌بندی نهایی معیارها مبتنی بر مقادیر اوزان آنها انجام گرفت. در آخرین مرحله، اقدام به شناسایی و رتبه‌بندی تمامی شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردمی در طرح‌های بیابان‌زدایی از دیدگاه کارشناسان مبتنی بر آزمون‌های ناپارامتریک فریدمن و پرسشنامه با طیف لیکرت، به قرار مراحل زیر شد:

۱. بررسی پایایی ابزار اندازه‌گیری: در این تحقیق از روش آلفای کرونباخ^۱ به منظور محاسبه میزان پایایی یا قابلیت اعتماد ابزار اندازه‌گیری استفاده گردید (Cronbach, 1951). مقدار آلفای کرونباخ با توجه به رابطه ۳ و با کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید.

$$a = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (3)$$

که در آن: K ، تعداد سؤالات یک شاخص، S_i^2 ، واریانس نمرات مربوط به گویه شماره i زام و S_t^2 ، واریانس جمع نمره‌های هر پاسخگو (واریانس کل شاخص) است.

۲. اجرای آزمون فریدمن و رتبه‌بندی متغیرها: در این مرحله آزمون فریدمن برای تجزیه واریانس دوطرفه از طریق رتبه‌بندی و همچنین مقایسه میانگین رتبه‌بندی گروه‌های مختلف با کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد. به‌طورکلی، تحلیل واریانس دوطرفه رتبه‌ای فریدمن، این فرضیه را می‌آزماید، که k گروه هم‌تا از توزیع پیوسته واحدی و یا از چند توزیع با میانه یکسان و یا در صورت تقارن توزیع‌ها با میانگین یکسان گرفته شده‌اند (رابطه ۴) (Friedman, 1937).

$$X^2 = \frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3N(K+1) \quad (4)$$

1. Cronbach alpha

جدول ۳- رتبه‌بندی معیارها با استفاده از AHP

Table 3-Ranking criteria using AHP

وزن نرمال Normal weight	CR	RI	CI	معیار Criteria	ردیف Row
0.48				آموزشی	1
0.13	0.086	0.9	0.078	اقتصادی	2
0.29				برنامه‌ریزی	3
0.07				اجتماعی	4

مشارکت مردم در سطح یک درصد است. بر این اساس، از منظر کارشناسان و خبرگان، شاخص "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی" با میانگین رتبه ۱۱/۷۲، دارای بیشترین اولویت نسبی و شاخص "عدم اعتماد نسبت به نتایج پروژه‌ها" با میانگین رتبه ۶/۱۵، دارای کم‌ترین اولویت نسبی در عدم مشارکت مردم در پروژه‌های بیابان‌زدایی منطقه می‌باشند (جدول ۴).

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت مردم از منظر کارشناسان

بر اساس نتایج، دامنه مقادیر میانگین رتبه‌ها بین ۶/۱۵ تا ۱۱/۷۲ متغیر است. همچنین مقدار سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ ($p \leq 0.01$) در آزمون فریدمن، بیانگر تفاوت معنی‌دار اهمیت نسبی عوامل مؤثر بر عدم

جدول ۴-رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت مردم از منظر کارشناسان

Table 4-Ranking of indicators affecting non-participation of people based on expert opinions

P-value	df	کای اسکوئر Chi-square	تعداد نمونه N. Sample	میانگین رتبه Mean order	شاخص Index	اولویت Order
				11.72	عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی	1
				11.17	نقش ضعیف رسانه‌های محلی در ترویج پروژه‌های بیابان‌زدایی و تشویق جامعه محلی	2
				7.97	عدم تخصیص کامل منابع مالی در اجرای پروژه‌ها	3
				7.92	نادیده گرفتن درآمد مردم در اجرای پروژه‌ها	4
				7.9	بازدهی دیرهنگام پروژه‌های بیابان‌زدایی	5
				7.87	عدم توجه به نظرات جامعه محلی در مراحل مطالعاتی-اجرایی و نگهداشت آتی از پروژه‌ها	6
0.000	14	50.836	30	7.8	درآمد پایین جامعه محلی	7
				7.68	کمبود نیروهای جوان در جامعه محلی ناشی از مهاجرت	8
				7.68	عدم توجه به سازمان‌های مردم‌نهاد (سمن‌ها) در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌ها	9
				7.6	وابستگی جامعه محلی به نهادهای دولتی	10
				7.52	تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در نهادهای دولتی	11
				7.45	پایین بودن سطح سواد در جامعه محلی	12
				6.85	اختلافات محلی و قومی	13
				6.73	عدم آموزش جامعه محلی در خصوص پروژه‌ها و اهداف مربوطه	14
				6.15	عدم اعتماد نسبت به نتایج پروژه‌ها	15

بحث و نتیجه‌گیری

بیابان‌زایی، که عامل مهمی در کاهش منابع طبیعی در سرتاسر جهان تلقی می‌شود، در چند دهه گذشته توجه زیادی را به خود جلب کرده است. Barjas *et al.* (2022). تلاش‌های جهانی گسترده‌ای برای مطالعه و پرداختن به این پدیده انجام شده است. توسعه پایدار انسانی، به سه عنصر کلیدی بستگی دارد: مردم، منابع و مشارکت (Mohammadabadi & Kolahi, 2022; Salehpour Jam *et al.*, 2021). به‌طور کلی، اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌های بیابان‌زدایی، به‌شدت متکی بر دستیابی به حداکثر مشارکت ساکنان محلی در طول مراحل اجرا و نگهداری است. هدف از این پژوهش، شناسایی معیارها و شاخص‌های مؤثر بر عدم مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های بیابان‌زدایی، اولویت‌بندی این معیارها و شاخص‌ها بر اساس دیدگاه کارشناسان و ارائه راهکارهایی برای افزایش مشارکت روستائیان بود.

یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد، که میزان مشارکت پاسخ‌دهندگان در پروژه‌های بیابان‌زدایی به‌طور قابل توجهی پایین است. بدون شک این وضعیت مستمر می‌تواند منجر به چالش‌هایی در اجرا و حفظ پروژه‌های بیابان‌زدایی آینده در منطقه شود. همچنین می‌تواند هزینه‌های قابل توجهی را برای نگهداری و توسعه پروژه به دولت تحمیل کند. نتایج تحقیق با یافته‌های Barjas *et al.* (2022)، Mousaei *et al.* (2019)، Barbieri *et al.* (2022)، Choo & Park (2022)، Salehpour Jam (2022) و Carson (2018) و Savari *et al.* (2022) مطابقت دارد، که سطح پایین مشارکت عمومی در طرح‌های دولتی مشابه را نشان می‌دهند. همه آن‌ها علت این امر را عمدتاً به عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی، اختلاف‌های محلی و قومیتی، عدم اعتماد نسبت به نتایج پروژه‌ها، وابستگی جامعه محلی به نهادهای دولتی و کمبود نیروهای جوان در جامعه محلی به دلیل مهاجرت عنوان کردند. در این تحقیق، معیار آموزشی، مهم‌ترین معیار عدم مشارکت مردمی در طرح‌های

بیابان‌زدایی از دیدگاه کارشناسان است. از منظر کارشناسان و خبرگان، شاخص "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی"، با میانگین رتبه ۱۱/۷۲، دارای بیشترین اولویت نسبی و شاخص "عدم اعتماد نسبت به نتایج پروژه‌ها" با میانگین رتبه ۶/۱۵، دارای کم‌ترین اولویت نسبی در عدم مشارکت مردم در پروژه‌های بیابان‌زدایی منطقه می‌باشند. همچنین، در معیار آموزشی، شاخص "عدم آموزش در جامعه محلی در خصوص پروژه‌ها و اهداف مربوطه"، از نظر کارشناسان در رتبه ۱۴، شاخص "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی"، از نظر کارشناسان در رتبه ۱ و شاخص "نقش محدود رسانه‌های محلی در پیشبرد طرح‌های بیابان‌زدایی و تشویق مشارکت جامعه"، از نظر کارشناسان در رتبه ۲ از بین ۱۵ شاخص قرار گرفت. نتایج این تحقیق با یافته‌های Savari *et al.* (2020)، Khaleghi (2022) و Salehpour Jam *et al.* (2021) مطابقت دارد. موارد موجود در شاخص "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی" که به عدم مشارکت کمک می‌کنند، عبارت‌اند از ترویج ضعیف پروژه‌های بیابان‌زدایی توسط رسانه‌های محلی و عدم تشویق مردم به انجام مشارکت، عدم حضور مروجان محلی و آموزش ناکافی جامعه محلی در مورد پروژه‌های بیابان‌زدایی و اهداف آن‌هاست. با توجه به میزان آشنایی روستائیان با طرح‌های بیابان‌زدایی، نتایج حاکی از آن است، که پاسخ‌دهندگان از ابعاد مختلف این طرح‌ها، آگاهی و درک حداقلی دارند. این عدم آشنایی، یکی از دلایل بارز کاهش مشارکت روستائیان در طرح‌های بیابان‌زدایی است. نتایج این تحقیق با یافته‌های Mohammadabadi, Barjas *et al.* (2022) و Salehpour Jam *et al.* (2021) & Kolahi (2022) مطابقت دارد. در مورد یافته‌های مربوط به موانع مشارکت در روستای غیاث‌آباد، شاخص «عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی» با رتبه ۱۰/۷۳، به‌عنوان اولویت اول شناسایی شد. در مورد روستای محسن‌آباد، شاخص «نقش ضعیف رسانه‌های محلی در پیشبرد

جسمی و روانی و افزایش آرامش و رضایت در بین ساکنان منطقه مورد مطالعه را افزایش خواهد داد. نتایج این پژوهش با یافته‌های Mohammadabadi & Kolahi (2022); Salehpour Jam *et al.* (2021) و Khaleghi (2022) مطابقت دارد. البته اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی در کاهش مهاجرت روستایی به شهر، ایجاد فرصت‌های شغلی، حفظ خاک و گیاهان، تأمین آب کافی برای کشاورزی و دامپروری، کاهش اثرات بلایای طبیعی مانند گردوغبار و خشک‌سالی نقش اساسی دارد (Saberifar & Khazaei, 2014; Mohammadabadi & Kolahi, 2022).

با توجه به نتایج، معیار "اقتصادی"، از نظر کارشناسان در رتبه ۳ و شاخص "درآمد کم جامعه محلی"، در رتبه ۷ از بین ۱۵ شاخص قرار گرفت. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط Barjas *et al.* (2022). Mehdizadeh (2019)، Salehpour Jam *et al.* (2021) و Taherzadeh (2016) مطابقت دارد. طبق نتایج آن‌ها، بیابان‌زایی تأثیر خاصی بر وضعیت اقتصادی دامداران داشته و منجر به کاهش تعداد دام، سطح زیرکشت زمین کشاورزی، مدفون شدن و تخریب مناطق مسکونی و درآمد کلی سالانه می‌شود.

در ادامه، از نظر کارشناسان معیار "برنامه‌ریزی" در رتبه ۲، شاخص "بازدهی دیرنگام پروژه‌های بیابان‌زدایی"، در رتبه ۵، شاخص "نادیده گرفتن درآمد مردم در اجرای پروژه‌ها"، در رتبه ۴، شاخص "تمرکز بیش‌ازحد قدرت تصمیم‌گیری در نهادهای دولتی"، در رتبه ۱۱ و شاخص "تخصیص ناکافی منابع مالی در اجرای پروژه"، در رتبه ۳ از بین ۱۵ شاخص قرار گرفت. نتایج این بخش با تحقیقات انجام‌شده توسط Barjas *et al.* (2022)، Akbari *et al.* (2013)، Salehpour *et al.* (2021)، Jam *et al.* (2021) و Elhiari و Khaleghi (2022) مطابقت دارد.

به‌طور کلی، اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌های بیابان‌زدایی به‌شدت متکی بر دستیابی به حداکثر مشارکت ساکنان محلی در مراحل اجرا و نگهداری است. این پژوهش نیز با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت

طرح‌های بیابان‌زدایی و تشویق مشارکت جامعه» با رتبه ۱۰/۵۰، بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است. این شاخص مانع اجرای مؤثر این طرح‌ها می‌شود. همچنین یافته‌های روستای شورقاضی نشان می‌دهد، که شاخص "پایین بودن سطح سواد در جامعه محلی" با رتبه ۹/۸۸، نگرانی اصلی است. این یافته‌ها نشان می‌دهد، که تا زمانی که روستاییان از سطح آگاهی کافی در مورد برنامه‌ها و پروژه‌ها، همراه با درک مثبت از فرصت‌های شغلی و اثرات مثبت پروژه‌های بیابان‌زدایی برخوردار نباشند، آن‌ها علاقه‌ای به این گونه مشارکت در این‌گونه طرح‌ها ندارند. در نتیجه، آن‌ها بی‌تفاوت باقی می‌مانند و یا مشارکت محدودی خواهند داشت. نتایج این پژوهش با یافته‌های (Mohammadabadi & Kolahi, 2022)، Salehpour Jam *et al.* (2021)، Sharifi *et al.* (2010) و Rezaei *et al.* (2011) و Barjas *et al.* (2022) همسو است، که بر اهمیت آموزش و افزایش آگاهی عمومی برای افزایش مشارکت تأکید می‌کنند. در این زمینه، تغییر ذهنیت جامعه محلی به سمت ایجاد اشتغال از طریق مشارکت دادن آن‌ها در حفظ پروژه‌های جاری و اجرای پروژه‌های آتی مهم است. ویدئوهای آموزشی مرتبط و همچنین بازدید از پروژه‌های موفق در سایر مناطق با همراهی ریش‌سفیدان و اعضای شورای روستا و به اشتراک گذاشتن تجربیات و مشاهدات میدانی خود با اهالی روستا باعث افزایش دانش و آگاهی آنان در مورد ظرفیت‌های اشتغال در این پروژه‌ها می‌شود.

در معیار اجتماعی، از نظر کارشناسان شاخص "اختلاف‌های محلی و قومیتی"، در رتبه ۱۳، شاخص "وابستگی جامعه محلی به نهادهای دولتی"، در رتبه ۱۰، شاخص "عدم اطمینان به نتایج پروژه‌ها"، در رتبه ۱۵ و شاخص "کمبود نیروهای جوان در جامعه محلی به دلیل مهاجرت"، در رتبه ۸ از بین ۱۵ شاخص قرار گرفت. بهبود بعد اجتماعی به‌طور قابل توجهی به کاهش تنش‌های اجتماعی و جمعیتی در منطقه کمک می‌نماید و در نتیجه افزایش امنیت فردی، مشارکت بیشتر روستاییان با نهادهای دولتی، بهبود سلامت

این، چنین ابتکاراتی به کاهش اثرات نامطلوب سیل، طوفان‌های گردوغبار و خشک‌سالی کمک خواهد کرد و در نتیجه رفاه کلی ساکنان را بهبود می‌بخشد. اگرچه در این تحقیق، شناسایی و اولویت‌بندی موانع دموگرافیک، مدیریتی و آموزشی مؤثر در عدم مشارکت مردمی در اجرای پروژه‌های بیابان‌زدایی مورد توجه قرار گرفته است، اما برنامه‌ریزی برای رفع این موانع مبتنی بر روش‌های ساختاربندهی مسئله در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

روستاییان در طرح‌های بیابان‌زدایی روستاهای غیاث‌آباد، شورش‌قازی و محسن‌آباد شهرستان گرمسار انجام شد. نتیجه تحقیق، بر اهمیت آموزش و افزایش آگاهی عمومی برای افزایش مشارکت توسط کارشناسان تأکید دارد. ویدئوهای آموزشی مرتبط با همچنین، بازدید از پروژه‌های موفق در سایر مناطق با همراهی ریش‌سفیدان و اعضای شورای روستا و به اشتراک گذاشتن تجربیات و مشاهدات میدانی خود با اهالی روستا باعث افزایش دانش و آگاهی آنان در مورد ظرفیت‌های اشتغال در این پروژه‌ها می‌شود. علاوه بر

References

- Akbari, M., Sadeghi Shahrokht, T., Valeh, M. & Mohajer Tahrán, S. (2013). Investigating the effects of desertification on the economic and social issues of rural areas (Case study: Sarkhas City, Razavi Khorasan Province). *Forest and Rangeland*, 95 (96), 18-23. (In Persian)
- Bagdi, G. L. (2005). *People's participation in soil and water conservation through watershed approach*. International Book Distributing Co.
- Barbieri, C., Sotomayor, S. & Aguilar, F. X. (2019). Perceived benefits of agricultural lands offering agritourism. *Tourism planning & development*, 16 (1), 43-60. <https://doi.org/10.1080/21568316.2017.1398780>
- Barjas, R., Rostami, N. & Salehpour Jam, A. (2022). Analysis of prioritization of factors affecting the non-participation of local communities in desertification projects (case study: Ain Khosh region, Ilam province). 3, 93-106.
- Batey, P.W.J. (2017). *How can cross-sector partnerships be made to work successfully? Lessons from the Mersey Basin Campaign (1985–2010)*. In *Socioeconomic Environmental Policies and Evaluations in Regional Science*. http://doi.org/10.1007/978-981-10-0099-7_4
- Carson, D. A. (2018). Challenges and opportunities for rural tourism geographies: A view from the 'boring' peripheries. *Tourism Geographies*, 20 (4), 737-741. <https://doi.org/10.1080/14616688.2018.1477173>
- Choo, H. & Park, D. B. (2022). The role of agritourism farms' characteristics on the performance: A case study of agritourism farm in South Korea. *International Journal of Hospitality & Tourism Administration*, 23(3), 464-477. <http://doi.org/10.1080/152564802020.1769520>
- Cronbach, L.J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Dufera, B., Kumar Dube, D. & Aschalew, A. (2020). Socio-Economic Impacts, and Factors Affecting Adoption of Watershed Management Practices Between the Treated and Untreated Micro-Watersheds in the Chirachasub-Watershed of Ethiopia. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/ Egyptology*, 17(9), 4528
- Elhiari, M. (2010). *Investigating the motivations of villagers migrating to cities, a case study of Charoimaq city*. Master's thesis in the field of agricultural economics, Faculty of Agriculture, Payam Noor University. (In Persian).
- Friedman, M. (1937). The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *J. Am. Stat. Assoc.*, 32, 675-701. <https://doi.org/10.2307/2279372>
- Jingling, L., Yun, L., Liya, S., Zhiguo, C. & Baoqiang, Z. (2010). Public participation in water resources management of Haihe river basin, China: the analysis and evaluation of

- status quo. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1750-1758. <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.187>
- Khaleghi, A. (2022). *Determining the damages caused by wind erosion and the degree of vulnerability due to the influx of flowing sand in Qasim Zamel village (case study: Khuzestan province, Hamidieh city)*. 6th international conference on applied research in agricultural, sources Natural and Environment sciences, Hamedan. (In Persian)
- Mehdizadeh, A. (2019). *The economic, social and cultural effects of tourism on the sustainable development of villages in desert areas*. National Conference on Desert Landscapes, Tourism and Environmental Arts, Najaf Abad. (In Persian)
- Mohammadabadi, F. & Kolahi, M. (2022). Factors affecting people's participation in natural resource projects implemented in Khorasan Razavi province. *Range and Watershed Management*, 74(4), 821-835. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2022.325142.1594>
- Mousaee, M., Malek-Mohammadi, A., Farajoleh Hosseini, J. & Mirdamadi, M. (2019). Factors affecting the participation of users in watershed management projects from the perspective of natural resources promotion and watershed management experts in Fars province. *Journal of Agricultural Sciences*, 4(1), 127-139. (In Persian)
- Rezaei, R., Vedadi A. & Mehrdost K. (2011). Investigating factors affecting villagers' participation in watershed management projects in Khamark area (case study: Deh Jalal village). *Rural Research Quarterly*, 3 (1), 199-221. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jrur.2012.24729>
- Saaty, T.L. (1980). *The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*, (Decision Making Series), McGraw-Hill, USA, 287 pages.
- Saaty, T.L. (2012). *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. Pittsburgh, RWS Publications.
- Saberifar, R. & Khazaei, A. (2014). The economic and social effects of desertification on cities (the case study of Ferdous). *Journal of Geographical Explorations of Desert Regions*, 3 (1), 185-205. (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.2345332.1394.3.1.9.9>
- Sadeghi Ravesh, M.H. & Khosravi, H. (2019). Analysis of desertification strategies resulting from decision-making models using social choice functions, (Case study: Khizrabad region of Yazd). *Environmental Science and Technology*, 22 (4): 227-239. <https://doi.org/10.22034/jest.2019.29505.3807>
- Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J. & Tabatabaei, M.R. (2021). Perspectives on barriers to people's participation in watershed management plans in south of Arad, the Ray County. *Journal of Watershed Management Research*, 34 (2), 61-76. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/wmej.2020.342128.1319>
- Salehpour Jam, A., Tabatabaei, M.R., Sarreshtehdari, A. & Mosaffaie, J. (2019). Investigation of drought characteristics in north-west of Iran using Deciles Index. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 10(4), 552-563. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121767.1480>
- Salehpour Jam, A., Sarrashte-Dari, A. & Tabatabai, M.R. (2017). Prioritization of factors affecting the non-participation of stakeholders in watershed management projects based on experts' views, study area: watershed areas overlooking Tehran city. *Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management*, 9 (4), 450-441. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.113463>
- Savari, M., Eskandari Damaneh, H. & Eskandari Damaneh, H. (2020). Factors influencing local people's participation in sustainable forest management. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-020-05519-z>
- Savari, M., Damaneh, H. E. & Damaneh, H. E. (2022). Factors involved in the degradation of mangrove forests in Iran: A mixed study for the management of this ecosystem. *Journal for Nature Conservation*, 66, 126153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126153>

- Sharifi, A., Gholamrezaei, S. & Rezaei, R. (2010). Investigating factors affecting the participation of villagers in watershed management projects in Jiroft region. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 4 (12): 1-9. (In Persian)
- Sharma, C. & Sisodia, S.S. (2016). Peoples' participation in watershed development programme: a case study of Rajasthan. *Indian Research Journal of Extension Education*, 8(1), 71-72.
- Shayan, H., Taghilo, A. & Khosrobigi, R. (2013). Analysis of the role of people's participation in the sustainability of rural economy (Case study of Ijerud Bala village, Ijerud city, Zanzan province). *Geography and Regional Development*, 19, 71-94. (In Persian).
<https://doi.org/10.22067/geography.v0i0.23235>
- Sheikh, V., Zare Garizi, A., Alvandi, E., Asadi Nalivan, O., Khosravi, Gh., Sadoddin, A. & Ownagh, M. (2020). Participatory site selection for the proposed options in the management of the HableRoud Basin. *Watershed Management Research*, 32(4), 2-18. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.352406.1848>
- Shibusawa, H., Sakurai, K., Mizunoya, T. & Uchida, S. (2017). Socioeconomic environmental policies and evaluations in regional science: essays in Honor of Yoshiro Higano. *New Frontiers in Regional Science: Asian Perspectives*. 24. Springer, Singapore.
- Taherzadeh, H. (2016). *Investigating the economic and social effects of desertification on cities (the case study of Ferdous)*. Master's thesis in the field of desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University. (In Persian)
- Vali, A.A., Mousavi, S.H. & Zarepour, M. (2018). Assessment of combat to desertification projects based on the vegetation criteria in Aran and Bidgol. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7(19), 63-80. (In Persian).
<http://doi.org/10.29252/jstnar.21.4.189>

The site selection of check dams using machine learning model in Dehdar watershed

Mehdi Teimouri¹, Asghar Bayat², Ali Shahbazi², Omid Asadi Nalivan^{*3}

1- Department of Nature Engineering, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran

2- Office of Natural Resources and Watershed Management of Alborz Province, Alborz, Karaj, Iran

3- Ph.D. Graduated in Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

* Corresponding author; omid.asadi@ut.ac.ir

(Received: 05 February 2024

Revised: 18 March 2024

Accepted: 17 April 2024)

Extended Abstract

Introduction: Soil erosion and water crisis are among the most significant threats that endanger the security of water and soil in the country. In order to address these problems, measures are being taken to soil and water conservation. The most important stage in implementing these plans is the structural measures of watershed management, which involves identifying the correct locations for implementing these plans. Proper site selection of check dams has a significant impact on reducing the cost of watershed activities and increasing their effectiveness. Traditional methods of locating check dams based on more information layers and the need for their integration and analysis are difficult and may result in errors, while modern and highly efficient data mining methods based on the quality and quantity of data and machine learning have been introduced. In this study, the maximum entropy (MaxEnt) model was used to locate check dams in the Dehdar Taleghan watershed.

Materials and methods: The Dehdar Taleghan watershed is located in the north of Alborz province, with variable elevation from the highest point at 4050 meters above sea level to the outlet of the watershed at 2248 meters. There are two villages located within the basin, which covers an area of 4780 hectares. The locations of existing and proposed check dams were extracted based on the database of implemented check dams in the Natural Resources and Watershed Management head office of Alborz province and the mechanical check dams' manuals of detailed-executive studies. In this study, 14 factors that affect the placement of watershed check dams including DEM, slope, distance from stream, roads, and faults, density of stream, roads, and faults, lithology, land use, stream power, stream rank, flow accumulation, and precipitation were used to determine suitable locations. The multicollinearity was checked using the variance inflation factor (VIF) and tolerance index. After confirming the absence of multicollinearity between variables, the existing check dam's points were randomly divided into training data (70%) and validation data (30%). The importance of each variable in explaining the model was determined using the MaxEnt model and the Jackknife plot, which was performed using MaxEnt software. In this study, the performance of the model in the training and validation stages was evaluated using the receiver operating characteristic (ROC) curve and its area under the curve (AUC).

Results and Discussion: The results showed that there is no linear relationship between the factors, and therefore all factors were used in the modeling process. The results of the Jackknife plot showed that distance from streams, slope, flow accumulation, stream order, elevation, mean precipitation, and lithology were the most important factors affecting the visibility of check dams, and they had a significant impact on predicting areas with potential for check dam construction. The accuracy of the model prediction was excellent in both the training (0.959) and validation (0.961) stages. Field surveys confirmed that the model accurately identified critical streams in terms of flooding and sedimentation, with a total of 30.3 kilometers of critical and supercritical stream identified. During various field visits, 11 check dams were identified in the studied streams. It is worth noting that the final map (critical areas) and the visibility of check dams, as assessed by consulting companies in detailed executive studies, had a 92% level of agreement, demonstrating the high accuracy of machine learning models for predicting check dam's visibility.

Conclusions: In this study, a map of suitable areas for check dam's construction in the Dehdar Taleghan watershed was prepared using the MaxEnt model, taking into account influential environmental variables. The ROC curve showed that the model's accuracy in estimating areas with potential for check dam's construction was excellent in both the training and validation stages, indicating excellent model performance. Based on the results, it can be said that the MaxEnt model has a high ability to determine areas with potential for check dam's construction. Due to its speed and high accuracy, the model is recommended for use in similar studies, especially in developing countries facing a shortage of facilities and financial resources. Combining geographic information systems with modern machine learning models to determine areas with potential for check dam's construction, especially in developing countries like Iran is recommended.

Keywords: Check dams, Erosion, Site Selection, Maximum Entropy, Sediment

Citation: Teimouri, M., Bayat, A., Shahbazi, A., & Asadi Nalivan, O. (2024). The site selection of check dams using machine learning model in Dehdar watershed. *Integrated Watershed Management*, 4(3), 14-29. doi: 10.22034/iwm.2024.2021371.1126

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>).



مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهدر

مهدی تیموری^۱، اصغر بیات^۲، علی شهبازی^۲، امید اسدی نلیوان^{۳*}

۱- گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

۲- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز، کرج، ایران

۳- فارغ‌التحصیل دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

*نویسنده مسئول: omid.asadi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

چکیده مبسوط

مقدمه: فرسایش خاک و بحران آب از مهم‌ترین تهدیداتی است که امنیت آب‌و‌خاک کشور را به خطر انداخته است. به‌منظور حل این مشکلات، اقدامات حفاظت خاک و آب در حال انجام است. مهم‌ترین مرحله اقدامات سازه‌های آبخیزداری، شناسایی درست مکان‌های موردنیاز جهت اجرای این طرح‌ها است. مکان‌یابی صحیح سازه‌های آبخیزداری، تأثیر فراوانی در کاهش هزینه فعالیت‌های آبخیزداری و افزایش اثربخشی دارد. مکان‌یابی با تکیه بر روش‌های سنتی با توجه به حجم لایه‌های اطلاعاتی و لزوم تلفیق و تحلیل آن‌ها، دشوار بوده و ضمن صرف وقت و هزینه زیاد، ممکن است موجب بروز خطا گردد. از جمله روش‌های نوین و با کارایی زیاد روش‌های داده‌کاوی مبتنی بر کیفیت و کمیت داده‌ها بوده و مبتنی بر یادگیری ماشین (Machine Learning) است. در این پژوهش از مدل حداکثر آنتروپی به‌منظور مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز دهدر طالقان استفاده شد.

مواد و روش‌ها: حوزه آبخیز دهدر طالقان با مساحت ۴۷۸۰ هکتار در شمال استان البرز واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا از بلندترین نقطه با ارتفاع ۴۰۵۰ متر تا خروجی حوزه با ارتفاع ۲۲۴۸ متر متغیر است. برای انجام این تحقیق، ابتدا بر اساس بانک اطلاعاتی سازه‌های اجراشده موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز و کتابچه سازه‌های مکانیکی مطالعات تفصیلی-اجرایی، محل سازه‌های اجراشده و پیشنهادی (مطالعات تفصیلی-اجرایی) استخراج گردید. در تحقیق حاضر جهت تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری از ۱۴ عامل مؤثر در جانمایی سازه‌ها شامل مدل رقومی ارتفاعی، شیب، فاصله از آبراهه، جاده و گسل، تراکم آبراهه، جاده و گسل، سنگ‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، شاخص قدرت آبراهه، رتبه آبراهه، تجمع جریان و بارندگی استفاده شده است. بررسی عدم وجود هم‌خطی چندگانه با استفاده از عامل تورم واریانس (VIF) و شاخص ضریب تحمل (Tolerance) انجام شد. پس از بررسی عدم وجود هم‌خطی بین متغیرها، نقاط سازه‌های موجود، با استفاده از روش تصادفی به دو دسته داده‌های مدل‌سازی (آموزش، ۷۰ درصد) و داده‌های اعتبارسنجی (آزمون، ۳۰ درصد) تقسیم شدند. میزان اهمیت هر یک از متغیرهای بکار رفته در تبیین مدل با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و با استفاده از نمودار جکنایف (Jackknife) تعیین و انجام این فرآیند در نرم‌افزار MaxEnt انجام شد. در این پژوهش، کارایی مدل در مراحل آموزش و اعتبارسنجی با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد گیرنده (ROC) و سطح زیر منحنی آن (AUC) ارزیابی شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که بین عوامل هم‌خطی وجود ندارد و لذا کلیه عوامل در روند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از نمودار جکنایف نشان داد که به ترتیب عوامل فاصله از آبراهه، شیب، تجمع جریان، رتبه آبراهه، ارتفاع، میانگین بارندگی و لیتولوژی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل احداث سازه تأثیرگذار بوده‌اند. میزان دقت پیش‌بینی مدل در هر دو بخش آموزش (۰/۹۵۹) و اعتبارسنجی (۰/۹۶۱) عالی بوده است. نتایج بازدیدهای میدانی نشان داد که در تمامی آبراهه‌های موردبررسی، مدل به‌درستی و با دقت بسیار زیاد آبراهه‌های بحرانی را به لحاظ آورد سیل و رسوب تشخیص داده است. در مجموع ۳۰/۳ کیلومتر آبراهه بحرانی و فوق بحرانی به لحاظ آورد سیل و رسوبات تشخیص داده شد. لذا در ادامه و در طی بازدیدهای مختلف تعداد ۱۱ سازه آبخیزداری (۶ مورد سازه سنگ و ملات، ۵ مورد سازه گابیونی) در آبراهه‌های مورد بازدید جانمایی شد. لازم به ذکر است که میزان انطباق نقشه نهایی (مناطق بحرانی) و جانمایی سازه‌های آبخیزداری شرکت‌های مشاور در قالب مطالعات تفصیلی-اجرایی میزان ۹۲ درصد بوده است که دقت بالای مدل‌های یادگیری ماشینی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش نقشه مناطق مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز دهدر طالقان با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی تأثیرگذار و با مدل حداکثر آنتروپی تهیه شد. منحنی ROC نشان داد که دقت مدل در برآورد کردن مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی عالی بوده است که به معنای عملکرد عالی مدل است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که مدل MaxEnt توانایی زیادی در تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری دارد. به دلیل سرعت و دقت زیاد مدل پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های مشابه به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه که با کمبود امکانات و منابع مالی مواجه هستند استفاده شود. ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل‌های نوین یادگیری ماشین به‌منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌ها مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه مثل ایران پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بندهای اصلاحی، حداکثر آنتروپی، رسوب، فرسایش، مکان‌یابی.

استناد: تیموری، م.، بیات، ا.، شهبازی، ع.؛ و اسدی نلیوان، ا. (۱۴۰۳). مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهدر. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۳)، ۱۴-۲۹.

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

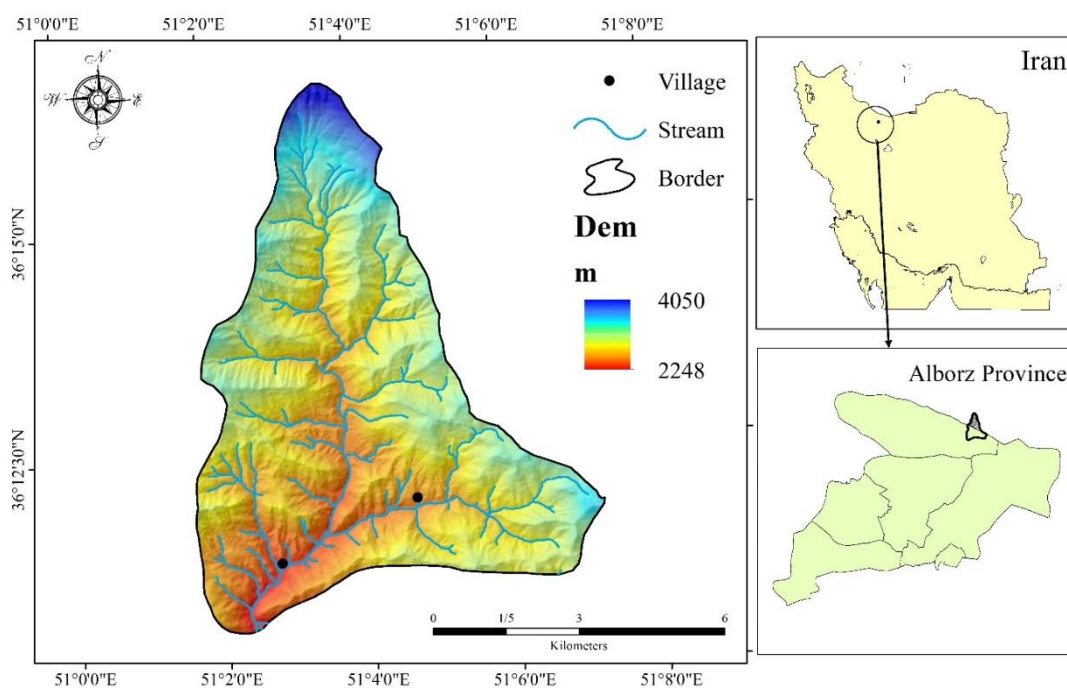
یکی از مسائل مهم در حوزه‌های آبخیز، فرسایش خاک در زمان سیلاب‌ها و انتقال بار رسوب به پایین‌دست رودخانه‌ها است. به‌منظور حل این مشکلات، اقدامات حفاظت خاک و آب در قالب برنامه‌های مختلف آبخیزداری شامل اقدامات سازه‌ای (بیومکانیکی و مکانیکی)، مدیریتی و بیولوژیکی در سطح حوزه‌های آبخیز کشور در حال انجام است (Azari & Sepehri, 2018). اجرای طرح‌های آبخیزداری، به‌عنوان اولویتی زیرساختی، نقش مهمی در کاهش تخریب‌های ناشی از جاری شدن روان آب‌ها و سیلاب‌ها ایفا می‌کند. ازجمله راه‌کارهای زودبازده جهت کاهش دبی اوج سیلاب از سوی دستگاه‌های متولی امر احداث بندهای اصلاحی است که علاوه بر مهار فرسایش در آبراهه‌ها سبب کاهش شیب آبراهه‌ها، کاهش سرعت جریان، تثبیت پروفیل طولی، افزایش زمان تمرکز و تأخیر و متعاقباً کاهش دبی اوج سیلاب می‌شود. مهم‌ترین مرحله اجرای طرح‌های بیومکانیکی و مکانیکی به‌عنوان اقدامات سازه‌ای آبخیزداری، شناسایی درست مکان‌های موردنیاز جهت اجرای این طرح‌ها است (Alocén et al., 2022; Yahya et al., 2022). مکان‌یابی صحیح سازه‌های آبخیزداری، تأثیر فراوانی در کاهش هزینه فعالیت‌های آبخیزداری و افزایش اثربخشی دارد (Souri et al., 2016). مکان‌یابی با تکیه بر روش‌های سنتی با توجه به حجم لایه‌های اطلاعاتی و لزوم تلفیق و تحلیل آن‌ها، دشوار بوده و ضمن صرف وقت و هزینه زیاد، ممکن است موجب بروز خطا گردد (Souri et al., 2016). در حال حاضر شناسایی مکان‌های موردنیاز جهت احداث سازه‌های آبخیزداری به‌صورت سنتی و عمدتاً بر مبنای بازدیدهای صحرایی و وابسته به نظر کارشناسان مکان‌یابی بوده و کمتر به نتایج مطالعات پایه پروژه‌های تفصیلی-اجرایی آبخیزداری به‌عنوان مطالعات همه‌جانبه‌نگر توجه می‌شود. نظر به اینکه معیارها و عوامل متعددی در انتخاب مکان مناسب برای احداث سازه‌های آبخیزداری دخالت دارند، استفاده از

روش‌های نوین و با کارایی زیاد به‌منظور مکان‌یابی سازه‌ها با استفاده از نتایج مطالعات پایه و تخصصی پروژه‌های تفصیلی-اجرایی آبخیزداری جهت افزایش دقت، صرفه‌جویی در وقت و همچنین کاهش هزینه ناشی از بازدیدهای میدانی طولانی‌مدت، حائز اهمیت فراوان است (Zare Bidaki et al., 2021). ازجمله روش‌های نوین و با کارایی زیاد، روش‌های داده‌کاوی مبتنی بر کیفیت و کمیت داده‌ها و همچنین مبتنی بر یادگیری ماشین (Machine Learning) است (Davoudi Moghaddam et al., 2020; Santoso & Darsono, 2019; Shao et al., 2020; Mahesh, 2020). Rahmati و همکاران (۲۰۱۹) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و به کمک نرم‌افزار توسعه داده‌شده مکان‌یابی سایت‌های مناسب برای سازه‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز پلدختر واقع در استان لرستان استفاده کردند. شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل TWI, TRI, TPI, STI, SPI، شیب، تراکم زهکشی و رتبه آبراهه‌ها بودند. این مطالعه نشان داد که با توجه به ارزیابی مدل بر اساس شاخص ROC، نتایج مدل قابل‌قبول بوده است. Al-Ruzouq و همکاران (۲۰۱۹) در شارجه به‌منظور تهیه نقشه مکان‌های مناسب احداث سد با استفاده از تکنیک‌های تلفیقی AHP-GIS با مدل‌های یادگیری ماشین، سه مدل RF، GBT و SVM را بکار گرفتند. در این تحقیق ۹ معیار مورد بررسی قرار گرفت و وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارهای مربوطه با استفاده از AHP تعیین شد. بر اساس تجزیه و تحلیل مدل‌های یادگیری ماشین مدل RF با دقت ۷۶٪ به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد. بر اساس مدل برتر، سه نقطه به‌عنوان مکان‌های مناسب احداث سد ذخیره آب انتخاب گردید. نتایج داده‌کاوی همچنین نشان داد که عوامل بارندگی و تراکم زهکشی، مؤثرترین عوامل در مکان‌یابی سد می‌باشند. Bihon و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی به انتخاب محل مناسب سد با تجزیه و تحلیل حساسیت مبتنی بر GIS و تعیین وزن عوامل مؤثر بر آن در رودخانه بیر واقع در اتیوپی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از ۹ شاخص استفاده

حوزه آبخیز دهدر طالقان در شمال استان البرز و بین مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر توپوگرافی، کوهستانی بوده و از دامنه‌های پرشیب و قله مرتفع تشکیل شده است. ارتفاع از سطح دریا از بلندترین نقطه با ارتفاع ۴۰۵۰ متر تا خروجی حوزه با ارتفاع ۲۲۴۸ متر متغیر است. بیشترین و کمترین مقدار بارندگی متوسط سالانه به ترتیب معادل ۹۳۲ و ۵۷۱ میلی‌متر محاسبه شده است. تعداد ۲ روستا در حوزه واقع شده‌اند. حوزه آبخیز دهدر ۴۷۸۰ هکتار مساحت دارد (شکل ۱).

کردند. بر اساس نتایج وزن عوامل به ترتیب فاصله از گسل، زمین‌شناسی، بافت خاک، شیب، نرخ فرسایش، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و ارتفاع بود. در نهایت ۴۷ درصد منطقه به‌عنوان مناطق مناسب جهت احداث سد پیشنهاد شد. بررسی سوابق تحقیقاتی داخلی و خارجی حاکی از آن است که پژوهش‌های محدودی در زمینه مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با به‌کارگیری این رویکرد انجام شده است. در این پژوهش از مدل حداکثر آنتروپی (ME) (Teimouri & asadi Nalivan, 2021)؛ (Pourghasemi *et al.*, 2020) به‌منظور مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری (گابیونی و سنگ و ملات) در حوزه آبخیز دهدر طالقان استفاده شد.

مواد و روش‌ها



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز دهدر در ایران و استان البرز

Figure 1- Location of Dehdar watershed in Iran and Alborz province

به‌صورت تصادفی، موقعیت مکانی سازه‌های آبخیزداری اجرا شده و پیشنهادی (تعدادی از نقاط) با استفاده از GPS ثبت گردید و اطلاعات سازه‌های منتخب وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و نقشه موقعیت مکانی سازه‌های آبخیزداری اجرا شده و پیشنهادی شرکت‌های مطالعاتی در قالب مطالعات تفصیلی-اجرایی تهیه شد (شکل ۲).

ابتدا بر اساس بانک اطلاعات سازه‌های اجرا شده موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز و کتابچه سازه‌های مکانیکی مطالعات تفصیلی-اجرایی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، محل سازه‌های اجرا شده و پیشنهادی (مطالعات تفصیلی-اجرایی) استخراج گردید. در مرحله بعد با انجام پیمایش صحرایی و

تیموری و همکاران

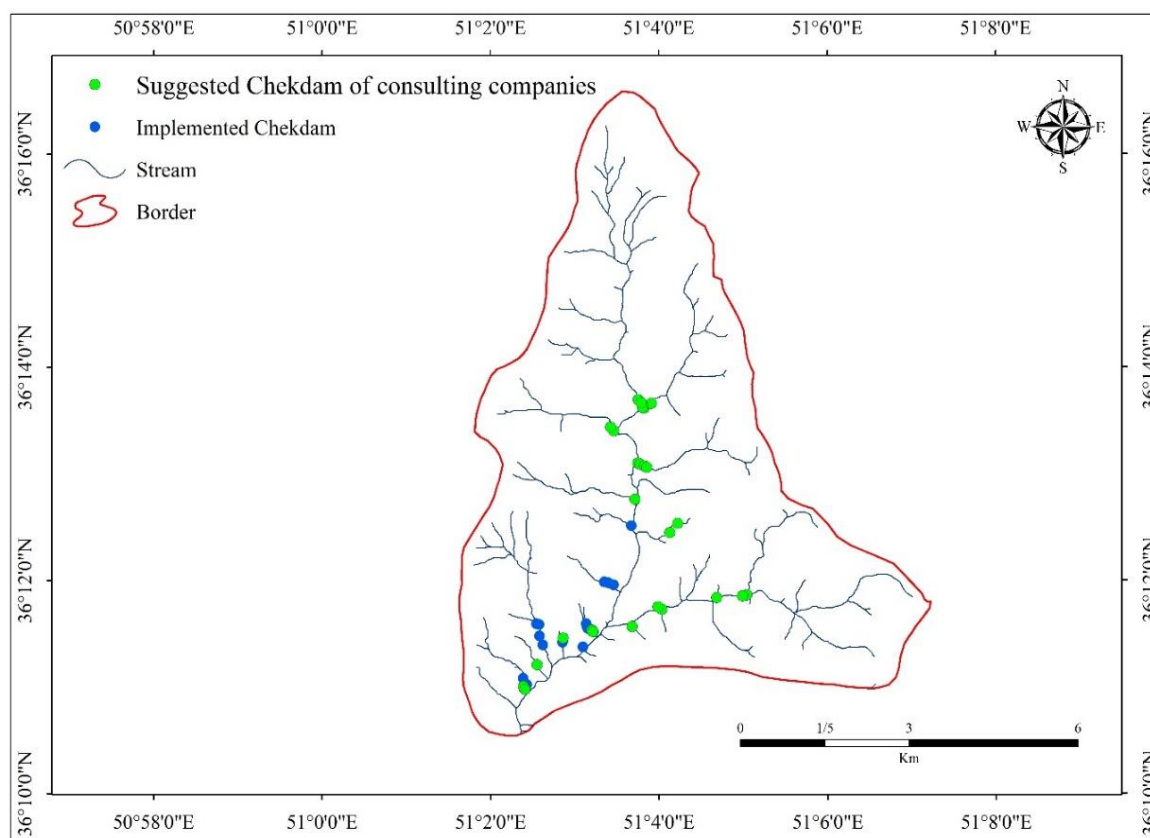
Mohammed *et al.*, 2019; Rahmati *et al.*, 2020; Shao *et al.*, 2020; Zare Bidaki *et al.*, 2021; Bihon *et al.*, 2022; Hagos *et al.*, 2022; Zada *et al.*, 2023

در تحقیق حاضر جهت تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری از ۱۴ شاخص (جدول ۱) مؤثر در جانمایی سازه‌ها استفاده شده است (Al-Ruzouq *et al.*, 2019;)

جدول ۱- عوامل به کاررفته برای تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری

Table 1- Factors used to determine suitable areas for check dams

منبع Resource	عامل (متغیر) Factor
بر اساس نقاط ارتفاعی و خطوط تراز (۱۰*۱۰ متر)	مدل رقومی ارتفاعی (m)
بر اساس مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار ArcGIS	شیب (Percent)
تابع Euclidean distance در نرم‌افزار ArcGIS	فاصله از آبراهه، جاده و گسل (m)
تابع Line Density در نرم‌افزار ArcGIS	تراکم آبراهه، جاده و گسل (km/km ²)
بر اساس نقشه زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی (لیتولوژی) با مقیاس (1:100000)
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز	کاربری اراضی با مقیاس (1:100000)
بر اساس مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار SAGA GIS	SPI، رتبه آبراهه و تجمع جریان
بر اساس میانگین بارندگی ایستگاه‌های موجود و روش گردایان در نرم‌افزار ArcGIS	بارندگی (mm)



شکل ۲- موقعیت سازه‌های اجراشده و پیشنهادی شرکت‌های مشاور در سطح حوزه دهدر طالقان

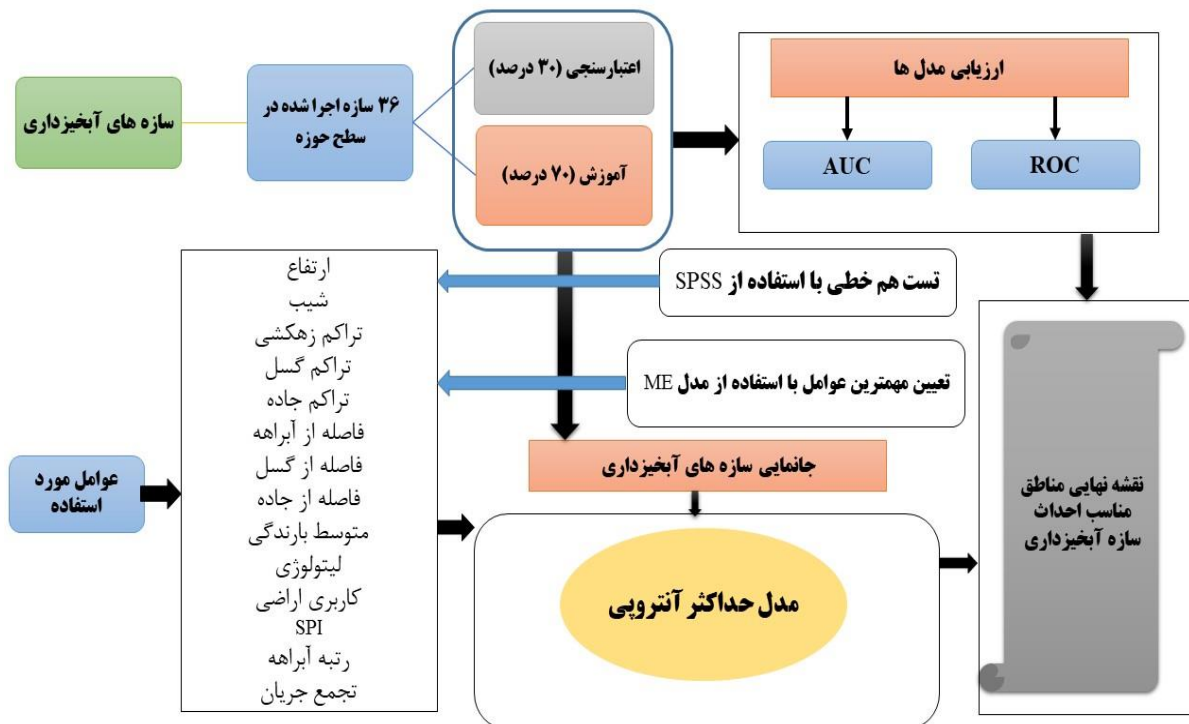
Figure 2- Location of implemented and proposed check dams of consulting companies at Dehdar basin

نقاط ارتفاعی و خطوط تراز در ابعاد ۱۰*۱۰ متر تهیه شد (شکل ۴). ارتفاع بر روی تغییرات بارندگی

شکل ۳ نمودار جریانی مراحل تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. ابتدا لایه مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از

و فاصله از آبراهه به‌عنوان عوامل مهم در زمینه جانمایی سازه‌های آبخیزداری عمل می‌کنند (Hagos et al., 2022; Zada et al., 2023). با توجه به هزینه‌های بالای احداث سازه‌های آبخیزداری وجود راه با دسترسی مناسب یکی از عوامل اصلی کاهش هزینه‌های اجرایی است (Hagos et al., 2022) (شکل ۴). وجود گسل به‌عنوان یک عامل محدودکننده اجرای سازه‌های آبخیزداری مطرح است (Bihon et al., 2022). وجود گسل‌ها باعث تخریب سازه‌های آبخیزداری می‌شوند. به‌طور کلی، زمین‌شناسی نقش مهمی در مطالعات جانمایی سازه‌های آبخیزداری به دلیل حساسیت‌های مختلف واحدهای سنگ‌شناسی به فرآیندهای فرسایش دارد (شکل ۴). به دلیل اهمیت نوع سنگ‌شناسی و سازندهای موجود و خصوصیات وابسته به آن‌ها که عامل بسیار مهمی در پتانسیل فرسایش محسوب می‌شوند لایه سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی منطقه استخراج گردید (Pourghasemi et al., 2020) (شکل ۴).

تأثیرگذار است (Chen et al., 2019) و در ارتفاعات بالاتر چون سطح حوزه آبرگیر و به تبع آن حجم جریان کمتر است، سازه‌های چپری و سبک اجرا می‌گردد و در ارتفاعات پایین‌تر سازه‌های گابیونی و سنگ و ملات اجرا می‌گردد (Zada et al., 2023). لایه شیب یکی از پارامترهای توپوگرافی خیلی مهم در کنترل وقوع سیلاب است و شیب‌های زیاد برای افزایش سرعت جریان‌های سطحی و در نتیجه وقوع سیل مساعد می‌باشند (Adiat et al., 2012; Al-Ruzouq et al., 2019). همچنین شیب زیاد به‌عنوان یک محدودیت در جانمایی سازه‌های آبخیزداری عمل می‌کند (شکل ۴). کاهش نفوذ باعث تراکم زهکشی بالا و افزایش رواناب سطحی می‌گردد و لذا مناطق دارای تراکم زهکشی بالاتر از پتانسیل بیشتری برای ایجاد سیل برخوردار هستند. تراکم آبراهه بیشتر باعث افزایش رواناب به‌تبع آن افزایش فرسایش از طریق افزایش قدرت جریان آبراهه در پایین‌دست می‌شود (شکل ۴). با توجه به اینکه تمامی سازه‌های آبخیزداری از نوع مکانیکی در بستر آبراهه‌ها احداث می‌شوند، دو عامل تراکم زهکشی



شکل ۳- نمودار جریان‌ی مراحل تحقیق
Figure 3- Flowchart of research

تیموری و همکاران

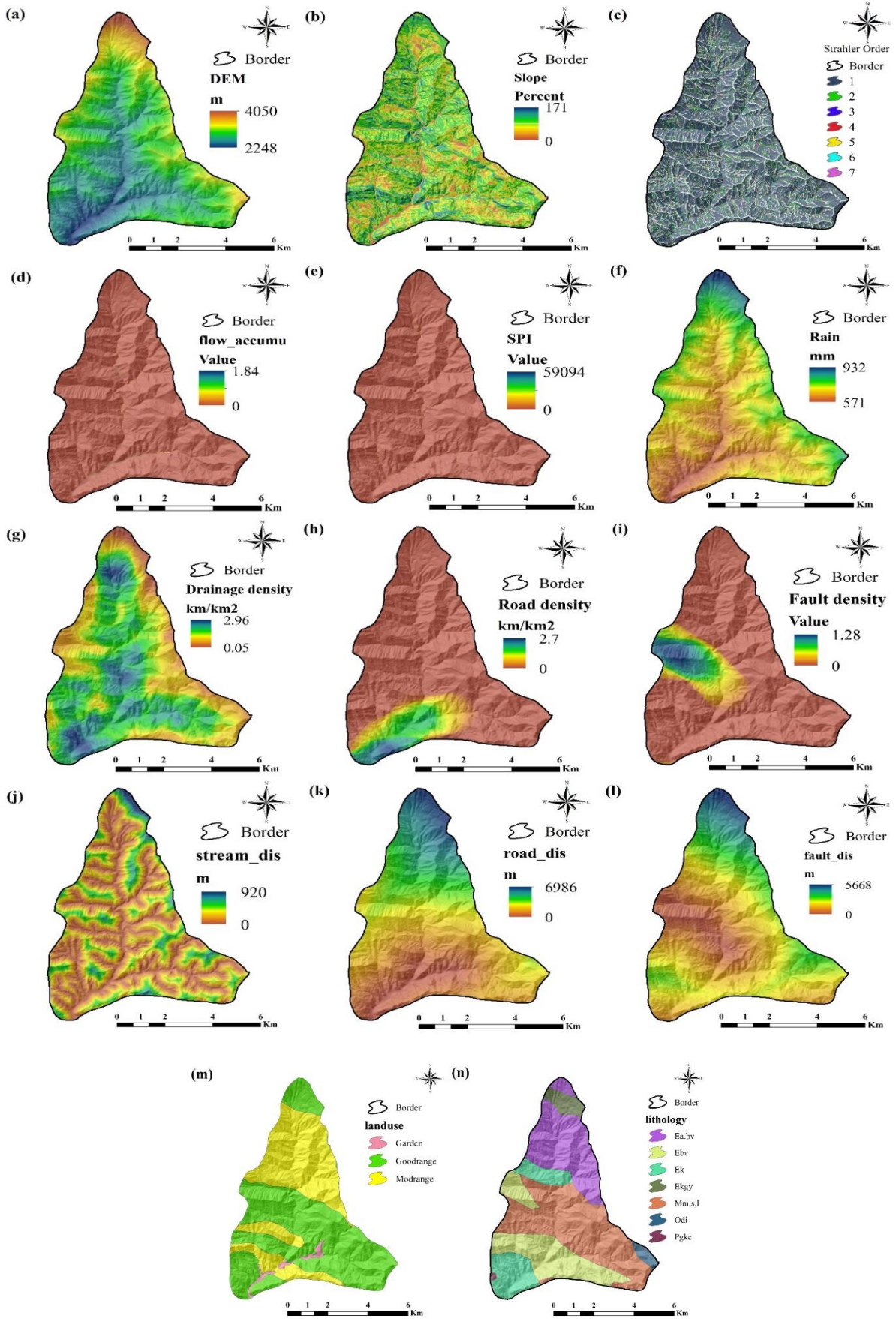
لایه کاربری اراضی (سال ۱۴۰۲) از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز دریافت و به کمک کارشناسان مربوطه در برخی مناطق اصلاحاتی بر روی آن انجام شده است (شکل ۴). لایه شاخص قدرت آبراهه (جریان) با استفاده از نرم‌افزار SAGA GIS تهیه شد (شکل ۴). شاخص SPI نشان‌دهنده قدرت جریان آبراهه است و افزایش آن باعث کاهش نفوذ و افزایش گل‌آلودگی می‌شود (Rahmati et al., 2019). میزان بارندگی یکی از شاخص‌های اصلی سیلاب و تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری در هر منطقه است. نقشه بارندگی با استفاده از اطلاعات ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی و هواشناسی در طی یک دوره آماری (۱۸ ساله (۱۳۸۲-۱۴۰۰)) به صورت گرادیان بارندگی تهیه شد (شکل ۴). جهت تعیین بارندگی متوسط منطقه از رابطه ۱ استفاده شد:

$$Y = 0.2003X + 120.83 \quad (R^2: 8035) \quad (1)$$

که در آن X: ارتفاع (نقشه DEM) و Y میزان بارندگی در هر پیکسل (۱۰ در ۱۰ متر) است. اهمیت رتبه آبراهه‌ها زمانی مشخص می‌شود که در آبراهه‌های رتبه ۱ بیشتر سازه‌های چپری و در آبراهه‌های درجه ۲ الی ۴ بیشتر سازه‌های گابیونی و در رتبه‌های بالاتر سازه‌های سنگ و ملات اجرا می‌گردد (Rahmati et al., 2023; Zada et al., 2020). لازم به ذکر است که کارایی سازه‌های سنگ و ملات در کنترل رسوب و فرسایش و کاهش دبی پیک سیلاب بیشتر از سایر سازه‌ها است و در صورت راه دسترسی مناسب در اولویت اجرا قرار دارند (شکل ۴). تجمع جریان در طول آبراهه در مناطقی که شیب کاهش پیدا می‌کند و یا سرپیچ‌های رودخانه بیشتر می‌شود و در مناطقی که این شاخص افزایش پیدا می‌کند، به دلیل کاهش سرعت جریان و کاهش شیب و محل مناسب ذخیره رسوبات، محل مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری است (شکل ۴). تجمع جریان بیانگر مقدار زیاد رواناب و در نتیجه احتمال خطر زیاد سیلاب است (Jahangir et al., 2019; Tien Bui et al., 2019; Hagos et al., 2022).

بررسی عدم وجود هم‌خطی چندگانه با استفاده از عامل تورم واریانس (VIF) و شاخص ضریب تحمل (Tolerance) انجام می‌شود (Du et al., 2017). این شاخص نشان می‌دهد که رفتار یک متغیر تا چه اندازه تحت تأثیر دیگر متغیرها تغییر می‌کند و استفاده از عواملی با هم‌خطی بالا سبب بروز خطا در نقشه نهایی می‌گردد (Khosravi et al., 2019). مقدار $VIF > 10$ و $Tolerance < 0.1$ نشان می‌دهد که بین متغیرها هم‌خطی وجود دارد که با حذف یکی از آن‌ها می‌توان هم‌خطی را کاهش داد (Khosravi et al., 2019). پس از بررسی عدم وجود هم‌خطی بین متغیرها، نقاط سازه‌های موجود، با استفاده از روش تصادفی به دو دسته داده‌های مدل‌سازی (تعلیمی/آموزش، ۷۰ درصد) و داده‌های اعتبارسنجی (آزمون، ۳۰ درصد) تقسیم شدند (Nachappa et al., 2020). میزان اهمیت هر یک از متغیرهای بکار رفته در تبیین مدل با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و با استفاده از نمودار چکنایف (Jackknife) تعیین گردید و انجام این فرآیند در نرم‌افزار MaxEnt انجام می‌شود (Phillips et al., 2006).

در این پژوهش، کارایی مدل در مراحل آموزش و اعتبارسنجی با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد گیرنده (ROC) و سطح زیر منحنی آن (AUC) ارزیابی شد. نتایج مرحله آموزش مدل دلالت بر مناسب بودن مدل داشته و نتایج مرحله اعتبارسنجی اطلاعاتی را در خصوص توانایی مدل در پیش‌بینی فراهم می‌آورد. مقدار ROC حاصل از منحنی تشخیص عملکرد گیرنده، بین ۰/۵ تا ۱ است و مقدار کمتر از ۰/۵ نشان‌دهنده آن است که مدل نمی‌تواند رویداد مدنظر را پیش‌بینی کند و ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی (مقدار ۱) را دارد (Chen et al., 2019). درجات مختلف AUC برای عملکرد مدل به این شرح تفسیر می‌گردد: ۰/۶-۰/۷ ضعیف، ۰/۷-۰/۸ متوسط، ۰/۸-۰/۹ خوب، ۰/۹-۱ خیلی خوب و ۰/۹-۱ عالی.



شکل ۴- عوامل مورد استفاده در تحقیق حاضر
 Figure 4- Factors used in the current research

تیموری و همکاران

مدل حداکثر آنتروپی یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که به صورت گسترده برای پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته و مبتنی بر نقاط حضور است (Kornejady *et al.*, 2017). این روش اولین بار برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های جانوری طراحی شده و به مرور در زمینه‌های دیگر نظیر پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش، حساسیت سیل‌خیزی و تعیین پتانسیل آب زیرزمینی استفاده شده است. مزیت این روش آن است که برای پیش‌بینی رفتار یک گونه یا پدیده نیاز به نقاط عدم حضور آن گونه یا پدیده ندارد، بلکه از یک سری عوامل تأثیرگذار و همچنین نقاط حضور آن پدیده استفاده می‌کند (Phillips *et al.*, 2006; Kornejady *et al.*, 2017). در این روش همبستگی عوامل مؤثر در جانمایی سازه با شواهد موجود محاسبه شده و با همبستگی متغیرها با ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی از منطقه به عنوان نقاط زمینه (مناطق شبه عدم حضور

سازه) مقایسه می‌گردد. یکی از مهم‌ترین مزایای مدل MaxEnt قابلیت این مدل در شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار و تحلیل حساسیت متغیرها به روش جک‌نایف است که در این تحقیق انجام شده است. ارزیابی این مدل با استفاده از منحنی ROC امکان‌پذیر است که سطح زیر نمودار AUC به دست آمده به عنوان معیاری از قدرت تفکیک مدل در تشخیص نقاط حضور و عدم حضور مورد توجه قرار می‌گیرد (Phillips *et al.*, 2006).

نتایج و بحث

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد ابتدا تست هم‌خطی بین عوامل انجام گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین عوامل هم‌خطی وجود ندارد و لذا کلیه عوامل در روند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲- نتایج آنالیز تست هم‌خطی بین عوامل مورد استفاده

Table 2- The results of the collinearity test analysis between the factors used

عامل توریم واریانس VIF	تحمل Tolerance	عوامل Factors
1.142	0.971	کاربری اراضی
1.365	0.935	تراکم زهکشی
1.423	0.917	فاصله از آبراهه
1.535	0.827	فاصله از غسل
1.783	0.816	تراکم غسل
1.975	0.715	لیتولوژی
2.231	0.692	بارندگی
2.482	0.552	شاخص قدرت آبراهه
2.661	0.452	فاصله از جاده
2.876	0.432	تراکم جاده
3.215	0.371	رتبه آبراهه
3.427	0.311	شیب
3.715	0.254	تجمع جریان
3.957	0.231	ارتفاع

منحنی پاسخ تغییرات عوامل در مدل حداکثر آنتروپی

منحنی پاسخ تغییرات ارتفاع نشان داد که با افزایش ارتفاع از ۱۵۰۰ الی ۲۳۰۰ متری پتانسیل احداث

سازه‌های آبخیزداری بیشتر شده است. از دلایل کاهش پتانسیل ایجاد سازه در ارتفاعات بالاتر حوزه آبخیز دهدر طالقان می‌توان به تغییر الگوی بارندگی از باران به برف اشاره کرد که برف به‌مرور زمان ذوب می‌شود و

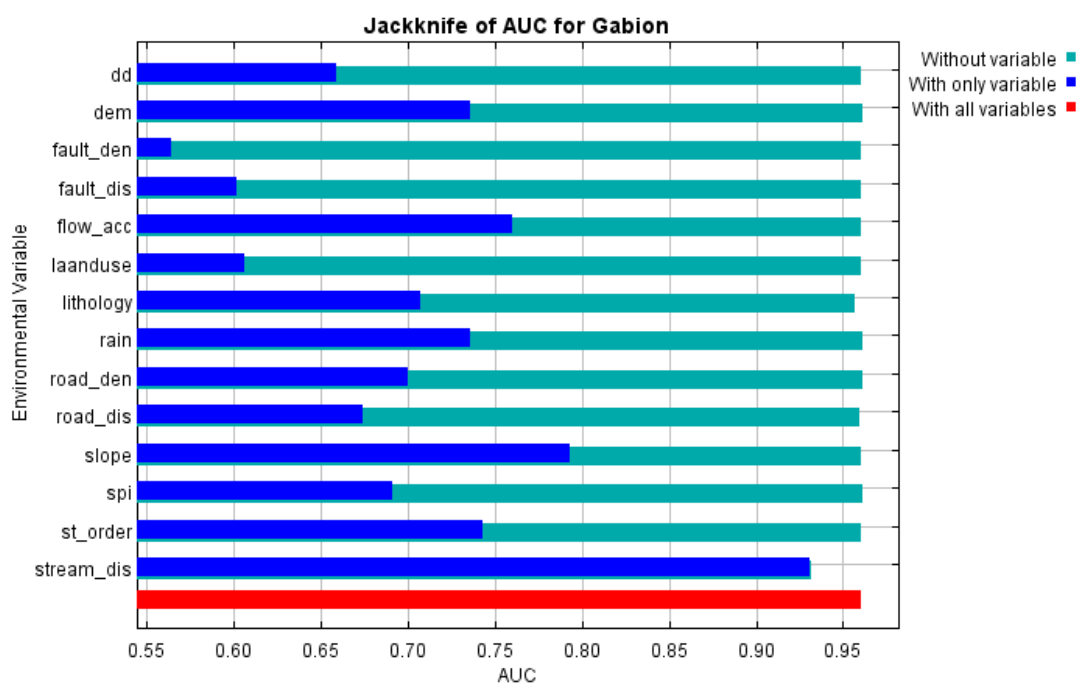
بیشترین میزان پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در کاربری مراتع متوسط اتفاق افتاده است. از دلایل افزایش میزان پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در کاربری مراتع متوسط می‌توان به کاهش میزان پوشش گیاهی و افزایش میزان رواناب اشاره کرد. از طرف دیگر معمولاً در مناطق کشاورزی و باغات (مستثنیات) سازه آبخیزداری احداث نمی‌شود. منحنی پاسخ شاخص قدرت آبراهه نشان داد که با افزایش میزان شاخص قدرت آبراهه، پتانسیل احداث سازه افزایش پیدا کرده است که یکی از دلایل این امر افزایش قدرت جریان و در نتیجه افزایش میزان فرسایش و رسوب است. این مهم در تحقیق Rahmati و همکاران (۲۰۱۹) اشاره شده است. منحنی پاسخ میزان بارندگی نشان داد که با افزایش میزان بارندگی از ۴۵۰ الی ۶۰۰ میلی‌متر پتانسیل احداث سازه افزایش پیدا کرده است و در دامنه‌های پایین‌تر و بالاتر از مقدار مذکور پتانسیل احداث سازه کاهشی بوده است. از دلایل این امر می‌توان به افزایش میزان پوشش گیاهی در اثر افزایش میزان بارندگی در ارتفاعات بالا اشاره کرد. از طرف دیگر در ارتفاعات بالاتر بیشتر آبراهه‌های رتبه ۱ وجود دارد که پتانسیل احداث سازه گابیونی و سنگ و ملات را ندارند و در ارتفاعات پایین‌تر نیز آبراهه‌ها در مناطق مسکونی و مستثنیات و باغات واقع شده‌اند که در این مناطق سازه احداث نمی‌شود. منحنی پاسخ تراکم گسل نشان داد که با افزایش تراکم گسل پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است که این نتیجه دور از انتظار نبود و معمولاً سازه‌ها در مناطق دارای تراکم کم گسل‌ها احداث می‌شوند. منحنی پاسخ فاصله از گسل نشان داد که با افزایش فاصله از گسل، پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است که این نتیجه دور از انتظار است و معمولاً سازه‌ها در مناطق دورتر از گسل‌ها احداث می‌شوند. منحنی پاسخ تراکم جاده نشان داد که با افزایش تراکم جاده، پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است که این نتیجه به دلیل نزدیکی آبراهه به جاده و خطرات تخریب سازه‌ها و در نتیجه تخریب

به یک‌باره تجمع جریان صورت نمی‌گیرد و همچنین در ارتفاعات بالاتر رتبه آبراهه کاهش پیدا می‌کند و مناسب سازه‌های گابیون و سنگ و ملات نمی‌باشد؛ بنابراین احتمال ایجاد سازه‌های سنگ و ملات در ارتفاعات پایین‌تر (به دلیل افزایش و تجمع رسوب) افزایش پیدا می‌کند (Kanani-Sadat *et al.*, 2019). منحنی پاسخ تغییرات شیب نشان داد که با افزایش شیب، پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری کاهش پیدا کرده است. از دلایل کاهش پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در شیب‌های بالا، عدم وجود مخزن مناسب، عدم ایمنی کافی جهت استقرار سازه به دلیل رانش و ریزش و عدم دسترسی مناسب است. نتایج این بخش با نتایج تحقیقات Zada و همکاران (۲۰۲۳) و Mohammed و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد و آن‌ها شیب را به‌عنوان یک عامل محدودکننده معرفی کرده‌اند. لازم به ذکر است که در شیب‌های تند و بالا بیشتر سازه‌های خشکه‌چین احداث می‌شوند. منحنی پاسخ فاصله از آبراهه نشان داد که با افزایش فاصله از آبراهه میزان پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری کاهش پیدا می‌کند. به دلیل اینکه بیشترین میزان تجمع جریان در آبراهه اتفاق می‌افتد و به همین خاطر افزایش فاصله از آبراهه کاهش پتانسیل احداث سازه را به دنبال دارد. در تحقیقات مشابه Hagos و همکاران (۲۰۲۲) و Bihon و همکاران (۲۰۲۲) به این مورد اشاره شده است. منحنی پاسخ لیتولوژی نشان داد که واحدهای سنگ‌های آتشفشانی بازالتی، ترکیب شیل و دولومیت، ترکیب ماسه‌سنگ و شیل و توف سبز و شیل توفی (سازند کرج) دارای بیشترین پتانسیل احداث سازه آبخیزداری بوده‌اند. از دلایل این امر می‌توان به میزان فرسایش مکانیکی و تولید رسوب بیشتر در این واحدها اشاره کرد. اهمیت لایه لیتولوژی در تحقیقات Zada و همکاران (۲۰۲۳)، Bihon و همکاران (۲۰۲۲)، Hagos و همکاران (۲۰۲۲) و Pourghasemi و همکاران (۲۰۲۰) مورد تأکید قرار گرفته است. منحنی پاسخ کاربری اراضی نشان داد که

تیموری و همکاران

رتبه ۲ الی ۶ با افزایش میزان رتبه آبراهه میزان پتانسیل احداث سازه آبخیزداری افزایش پیدا کرده است و در سازه‌های گابیونی از رتبه ۶ به بعد پتانسیل احداث سازه کاهشی بوده است که به دلیل افزایش میزان رواناب و تجمع جریان در رتبه‌های بالاتر است. شکل ۵ نتایج حاصل از نمودار جک‌نایف جهت تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار و سهم هر یک از پارامترها را در پیش‌بینی مدل MaxEnt نشان می‌دهد. با توجه به شکل به ترتیب عوامل فاصله از آبراهه، شیب، تجمع جریان، رتبه آبراهه، ارتفاع، میانگین بارندگی و لیتولوژی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل احداث سازه تأثیرگذار بوده‌اند. این نتایج بیانگر این است که تمامی عوامل بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری تأثیرگذار هستند و در هر منطقه‌ای با توجه به شرایط محیطی و نوع سازه اجرایی یک یا چند تا از عوامل نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند که نشان‌دهنده پیچیدگی مکان‌یابی مناسب سازه‌های آبخیزداری و تأثیرپذیری از عوامل مختلف است.

جاده می‌تواند باشد. منحنی پاسخ فاصله از جاده نشان داد که با افزایش فاصله از جاده پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است. یکی از دلایل این امر بحث اقتصادی راه دسترسی جهت احداث سازه‌ها است. هرچقدر راه دسترسی به سازه صعب‌العبورتر باشد به هزینه‌های حمل مصالح افزوده خواهد شد و به ناچار باید از حیوانات باری و چهارپایان جهت حمل استفاده کرد که باعث افزایش هزینه‌ها و همچنین افزایش زمان اجرای پروژه خواهد شد. اهمیت بررسی جاده در تحقیقات Mohammed و همکاران (۲۰۱۹)، Bihon و همکاران (۲۰۲۲)، Hagos و همکاران (۲۰۲۲) و Al-Ruzouq و همکاران (۲۰۱۹) اشاره شده است. منحنی پاسخ تجمع جریان نشان داد که با افزایش تجمع جریان، پتانسیل احداث سازه افزایش پیدا کرده است. با توجه به اینکه هدف سازه‌های آبخیزداری کاهش دبی پیک سیلاب و کنترل رسوب است، در مناطقی که تجمع جریان افزایش پیدا می‌کند، مناسب احداث سازه است تا از این طریق بتوان میزان خسارات را به حداقل رساند. منحنی پاسخ رتبه آبراهه نشان داد که در بازه



شکل ۵- نتایج حاصل از آزمون جک‌نایف جهت تعیین مهم‌ترین عوامل

Figure 5- Jackknife test results to determine the most important factors

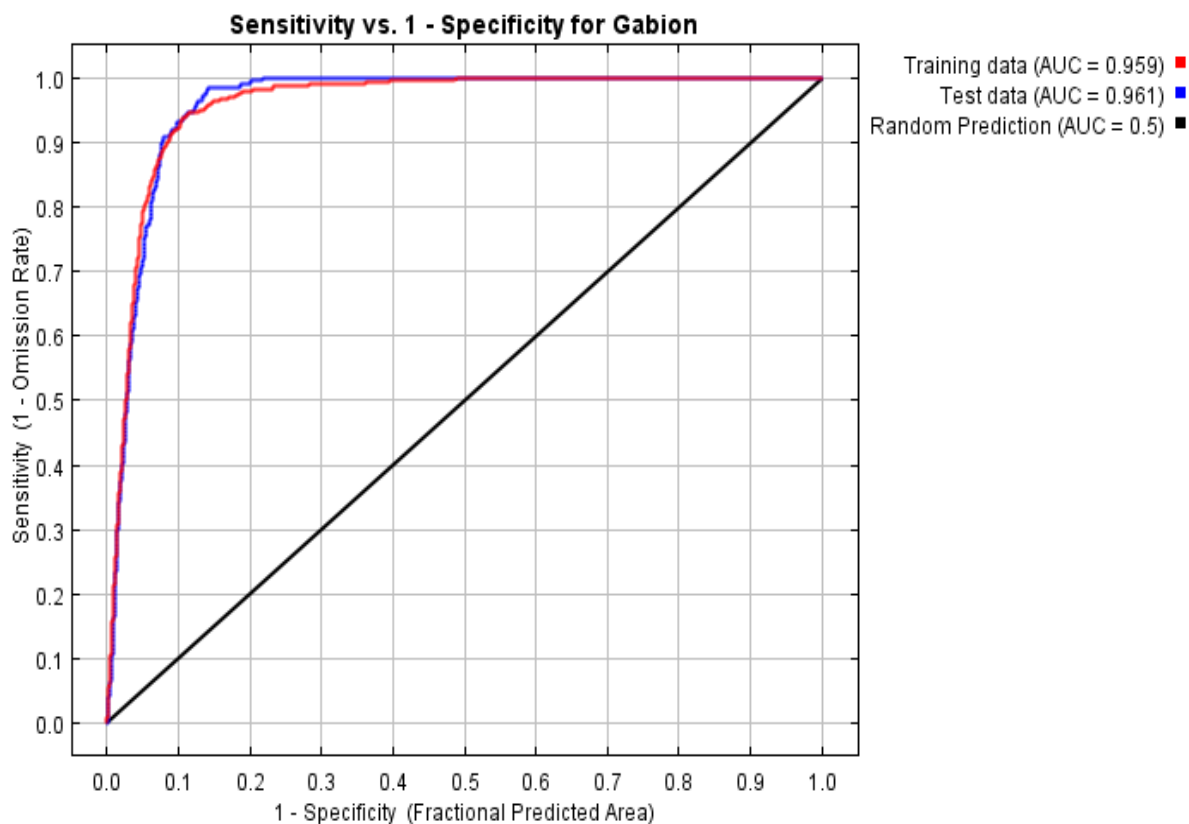
مقادیر ROC را در دو بخش آموزش و اعتبارسنجی در

شکل ۶ نتایج حاصل از قدرت پیش‌بینی مدل بر اساس

آبراهه فوق بحرانی تشخیص داده شد (در مجموع ۷۱/۹ هکتار آبراهه بحرانی و فوق بحرانی به لحاظ آورد سیل و رسوبات) (شکل ۷). لذا در ادامه و در طی بازدیدهای مختلف تعداد ۱۱ سازه آبخیزداری (۶ مورد سازه سنگ و ملات، ۵ مورد سازه گابیونی) در آبراهه‌های مورد بازدید جانمایی شد (شکل ۷). لازم به ذکر است که میزان انطباق نقشه نهایی (مناطق بحرانی) و جانمایی سازه‌های آبخیزداری شرکت‌های مشاور در قالب مطالعات تفصیلی-اجرائی میزان ۹۲ درصد بوده است که دقت بالای مدل‌های یادگیری ماشینی را به‌عنوان یک روش نوین در بحث جانمایی سازه‌های آبخیزداری با کاهش هزینه‌ها و مدیریت زمان نشان می‌دهد (شکل ۷). لازم به ذکر است با توجه به میزان آورد رسوبات و نوع رسوبات (واریزه سنگی) در صورت امکان و راه دسترسی مناسب کلیه نقاط پیشنهادی گابیون را می‌توان تبدیل به سازه سنگ و ملات کرد.

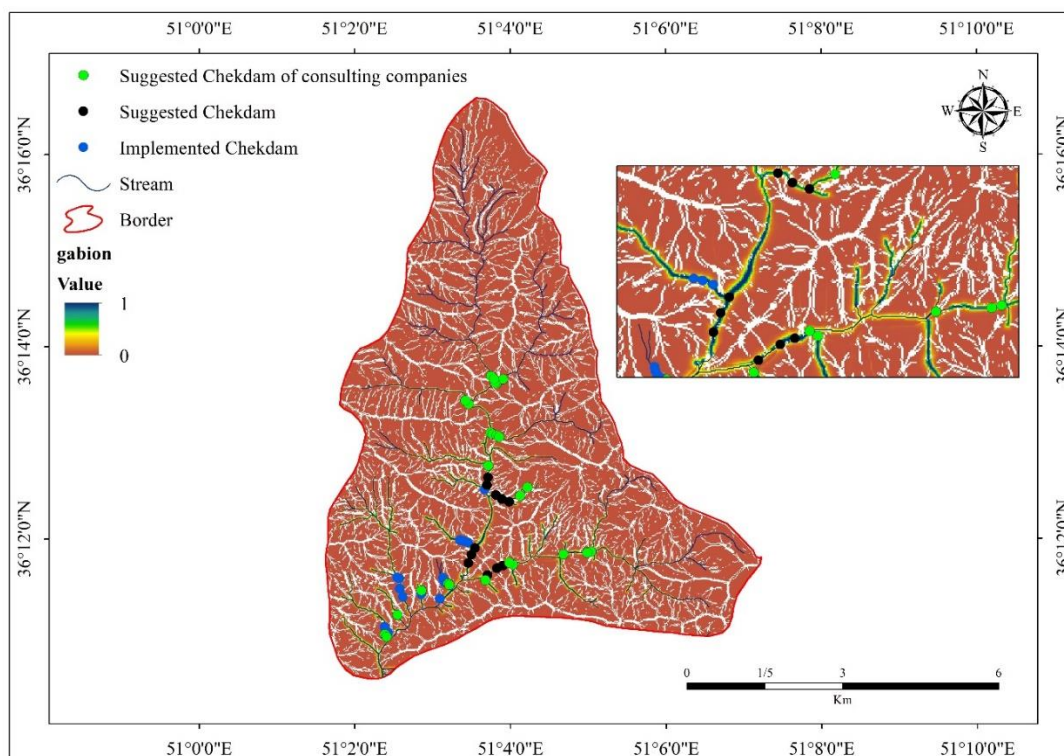
مدل حداکثر آنتروپی نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۶ میزان دقت پیش‌بینی مدل در هر دو بخش آموزش (۰/۹۵۹) و اعتبارسنجی (۰/۹۶۱) عالی بوده است؛ بنابراین با توجه به نتایج می‌توان به پیش‌بینی مدل حداکثر آنتروپی اعتماد کرد.

شکل ۷ نقشه نهایی (نقشه رستری) مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری گابیونی را در حوزه آبخیز دهدر طالقان بر اساس مدل حداکثر آنتروپی نشان می‌دهد. بعد از اجرای مدل، جهت صحت‌سنجی نتایج مدل حداکثر آنتروپی و شناسایی آبراهه‌های بحرانی بازدیدهای مختلفی از سطح حوزه آبخیز دهدر انجام گرفت. نتایج بازدیدهای میدانی نشان داد که در تمامی آبراهه‌های موردبررسی، مدل به‌درستی و با دقت بسیار زیاد آبراهه‌های بحرانی را به لحاظ آورد سیل و رسوب تشخیص داده است. در مجموع ۶۰/۵ هکتار آبراهه بحرانی و ۱۱/۴ هکتار



شکل ۶- نتایج مقادیر ROC در بخش آموزش و اعتبارسنجی مدل

Figure 6- The results of ROC values in the training and validation section



شکل ۷- نقشه نهایی پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری و نقاط پیشنهادی تحقیق حاضر و شرکت‌های مشاور و نقاط اجرایی

Figure 7- The final map of the construction potential of check dams and the proposed points in the research and consulting companies and implementation points

نتیجه‌گیری

شیب، تجمع جریان، ارتفاع و رتبه آبراهه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل احداث سازه تأثیرگذار بوده‌اند. از آنجا که تشخیص مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری با روش‌های سنتی هزینه‌بر و زمان‌بر است، تهیه کردن نقشه مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با روش‌های نوین یادگیری ماشینی ضروری است. در این پژوهش نقشه مناطق مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز دهر طالقان با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی تأثیرگذار و با مدل حداکثر آنتروپی تهیه شد. منحنی ROC نشان داد که دقت مدل در برآورد کردن مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی عالی بوده است که بر اساس نظر Phillips و همکاران (۲۰۰۶) به معنای عملکرد عالی مدل است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که مدل MaxEnt توانایی زیادی در

در سال‌های اخیر روش‌های سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق و به‌طورکلی هوش مصنوعی در مقایسه با روش‌های زمان‌بر و پرهزینه سنتی در تشخیص مناطق دارای مخاطرات طبیعی و پتانسیل‌یابی مناطق دارای آب زیرزمینی، کارایی زیادی داشته‌اند و باعث افزایش دقت و سرعت در ارزیابی حساسیت و احتمال وقوع مخاطرات و مکان‌یابی با کمک گرفتن از داده‌های محیطی، توپوگرافی و اقلیمی شده‌اند. عوامل متعددی در یک حوزه آبخیز بر جریان آب در سطح حوزه اثرگذار می‌باشند که هرکدام از این عوامل پتانسیل متفاوتی در تغییر جریان و میزان فرسایش دارند. تعیین مهم‌ترین و مؤثرترین فاکتورهای تأثیرگذار بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری جهت انجام مدل‌سازی بسیار ضروری است. نتایج پژوهش نشان داد که عوامل فاصله از آبراهه،

دامنه‌ها در این مناطق تجمع پیدا می‌کند، پتانسیل احداث سازه‌ها افزایش پیدا کرده است. ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل‌های نوین یادگیری ماشین به منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌ها مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه مثل ایران که دسترسی به اطلاعات و داده‌ها با محدودیت زمان و هزینه مواجه هستند پیشنهاد می‌گردد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران جهت مدیریت مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری کمک کند.

تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری دارد. به دلیل سرعت و دقت زیاد مدل پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های مشابه به خصوص در کشورهای در حال توسعه که با کمبود امکانات و منابع مالی مواجه هستند استفاده شود. به طور کلی می‌توان بیان کرد که حوزه آبخیز دهر طالقان با توجه به میزان فرسایش و رسوب زیاد دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در ابعاد زیاد و به تعداد بالا است و بیشتر مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌ها در بستر آبراه‌ها و رودخانه‌ها واقع شده‌اند. به دلیل اینکه در این مناطق تجمع جریان صورت گرفته است و فرسایش

References

- Adiat, KAN., Nawawi, MNM. & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool – a case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440–441: 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.028>
- Alocén, P., Fernández-Centeno, M. Á. & Toledo, M.Á. (2022). Prediction of Concrete Dam Deformation through the Combination of Machine Learning Models. *Water*, 14(7), 1133. <https://doi.org/10.3390/w14071133>
- Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Yilmaz, A. G., Idris, A., Mukherjee, S., Khalil, M. A. & Gibril, M.B.A. (2019). Dam site suitability mapping and analysis using an integrated GIS and machine learning approach. *Water*, 11(9), 1880. <https://doi.org/10.3390/w11091880>
- Azari, M. & Sepehri, A. (2018). A GIS-based Decision Support System to Identify Potential Sites for Soil and Water Conservation Measures (Case Study: Kakhk Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(1), 29, 65-82. <https://doi.org/10.22067/GEO.V7I2.66301>. (In Persian)
- Bihon, Y., Meshesha, M., Melese, D., Beyene, T., Kifle, T. & Mihretu, E. (2022). Suitable Dam Site Selection with GIS-Based Sensitivity Analysis of Factors Weight Determination (In Birr River, Upper Blue Nile, Ethiopia). *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(8), 1366-1386. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7067751>
- Chen, W., Hong, H. & Li, S. (2019). Flood susceptibility modelling using novel hybrid approach of reduced-error pruning trees with bagging and random subspace ensembles. *Journal of Hydrology*, 575, 864-873. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.089>
- Davoudi Moghaddam, D., Rahmati, O., Haghizadeh, A. & Kalantari, Z. (2020). A modeling comparison of groundwater potential mapping in a mountain bedrock aquifer: Quest, Garp, and RF models. *Water*, 12(3), 679. <https://doi.org/10.3390/w12030679>
- Du, G. L., Zhang, Y. S., Iqbal, J., Yang, Z. H. & Yao, X. (2017). Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu Province, China. *Journal of Mountain Science*, 14(2), 249-268. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4126-9>
- Hagos, Y., Andualem, T., Mengie, M., Ayele, W. & Malede, D. (2022). Suitable dam site identification using GIS-based MCDA: a case study of Chemoga watershed, Ethiopia. *Applied Water Science*. <https://doi.org/10.1007/s13201-02201592-9>

- Jahangir, M. H., Reineh, S. M. M. & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*, 25, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100215>
- Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F. & Nasseri, M. (2019). A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. *Journal of Hydrology*, 572, 17-31. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034>
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B. & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311-323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.073>
- Kornejady, A., Ownegh, M. & Bahremand, A. (2017). Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena*, 152, 144-162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.010>
- Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research*, 9, 381-386. <https://doi.org/10.21275/ART20203995>
- Mohammed, A., Pradhan, B., Mahmood, Q. (2019). Dam site suitability assessment at the Greater Zab River in northern Iraq using remote sensing data and GIS. *Journal of Hydrology*, 574, 964-979. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.001>
- Nachappa, T.G., Tavakkoli, S., Gholamnia, Kh. Ghorbanzadeh, O., Rahmati, O. & Blaschke, T. (2020). Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory. *Journal of Hydrology*, 590, 125275. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125275>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pourghasemi, H. R., Yousefi, S., Sadhasivam, N. & Eskandari, S. (2020). Assessing, mapping, and optimizing the locations of sediment control check dam's construction. *Science of the Total Environment*, 739, 139954. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139954>
- Rahmati, O., Ghasemiyeh, H., Samadi, M., Kalantari, Z., Tiefenbacher, J., Asadi Nalivan, O., Cerda, A., Ghiasi, S., Darabi, H., Haghghi, A. & Tien Bui, D. (2020). TET: An automated tool for evaluating suitable check-dam sites based on sediment trapping efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 266, 122051. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122051>
- Rahmati, O., Kalantari, Z., Samadi, M., Uuemaai, E., Moghaddam, D., Asadi Nalivan, O., Destouni, G. & Tien Bui, D. (2019). GIS-Based Site Selection for Check Dams in Watersheds: Considering Geomorphometric and Topo-Hydrological Factors. *Sustainability*, 11, 5639. <https://doi.org/10.3390/su11205639>
- Santoso, I. & Darsono, S. (2019). Review of criteria on multi criteria decision making (MCDM) construction of DAMS. *GEOMATE Journal*, 16(55), 184-194. <https://doi.org/10.21660/2019.55.87673>
- Shao, Z., Jahangir, Z., Yasir, Q., Rahman, A. & Mahmood, S. (2020). Identification of Potential Sites for a Multi-Purpose Dam Using a Dam Suitability Stream Model. *Water*, 12, 3249. <https://doi.org/10.3390/w12113249>
- Souri, M., Tork, K. & Bazrafshan, O. (2016). VIKOR methods in management and site selection of stone-mortar Dams, case study: Watershed Yakhlaqan Makoo. *Watershed Engineering and Management*, 8(2), 140-151. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106452> (In Persian)

- Teimouri, M. & Asadi Nalivan, O. (2021). Determination of Groundwater Spring Potential Using Maximum Entropy, GIS and RS Emphasizing HAND Topographic-Hydrologic New Index (Case Study: Urmia Lake Basin). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 13(2), 119-138. <https://doi.org/10.52547/gisj.13.2.119> (In Persian)
- Tien Bui, D., Hoang, N.-D., Martínez-Álvarez, F., Ngo, P.-T.T., Hoa, P.V., Pham, T.D., Samui, P. & Costache, R. (2019). A novel deep learning neural network approach for predicting flash flood susceptibility: A case study at a high frequency tropical storm area. *Science of Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.134413>
- Yahya, F., Fazli, B., Sallehudin, H. & Mohd Jaya, M.I. (2020). Machine Learning in Dam Water Research: An Overview of Applications and Approaches. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (2), 1268-1274. <https://doi.org/10.30534/ijtcse/2020/56922020>
- Zada, N., Javed, M., Ahmad, S. & Waleed, M. (2023). Dam site selection using remote sensing techniques and geographical information system (GIS): A case study of Kurram Tangi North Waziristan. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2447939/v1>
- Zare Bidaki, R., Moradi, B. & Bahrami, H. (2021). Locating susceptible areas for short earth fill dams (Case study: Beheshtabad Watershed). *Management of Natural Ecosystem*, 1(1), 1, 37-48. <https://doi.org/10.22034/EMJ.2021.248949> (In Persian)

Simulation of climate change scenarios using the CMIP6 models (Case study: Taleqan Watershed)

Parvin Mohammadi¹, Arash Malekian^{1*}, Ali Selajegheh¹, Mojtaba Nouri², Hamed Rafiei³

- 1- Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, Karaj, Iran
- 2- Iran Water Resources Management Company, Tehran, Iran
- 3- Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics and Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

* **Corresponding author:** malekian@ut.ac.ir

(Received: 06 February 2024

Revise: 29 March 2024

Accepted: 30 April 2024)

Introduction: The industrialization of communities has led to an increase in greenhouse gases over recent decades. This increase has caused the warming of the earth's atmosphere, and it affected other components of the climate system and led to climate change. The evidence confirms that the global average temperature of the Earth is increasing, especially in recent years. Moreover, precipitation intensity has changed over time. It is expected that changes in temperature and precipitation will cause a series of climatic extreme events. Therefore, it is an undeniable fact that the intensification of global climate change has affected the development and survival of mankind. The purpose of this research is to investigate and predict these changes in the future decades in the Taleqan watershed, Iran.

Materials and methods: The study area, Taleqan watershed with a mountainous topography, is located in the northwest of Alborz province, Iran. The annual precipitation and temperature of the region are 485.8mm and 11.4°C, respectively. To estimate and generate data for the future period (2021-2040), we used daily data from regional stations, including precipitation data from the base period (1979-2014) and average temperature data from the base period (2003-2014). We also utilized output data from the General Circulation Model (CanESM5) under climate scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5). CanESM5 is a global model developed for simulating future climate change and developing seasonal and decadal forecasts. CanESM5 is usually used for large-scale projections, therefore, SDSM is chosen to downscale climate data. The changes of average precipitation and temperature parameters for three future periods (2021-2040, 2041-2060, and 2081-2100) were evaluated and RMSE, MAD and R were used to evaluate model accuracy.

Results and Discussion: The greatest increase in precipitation in Arnot station is in March, May and November and the greatest decrease in precipitation in September and October is predicted under the SSP scenarios for the periods 2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100. In Sakranchal station, the highest increase in precipitation is in three periods of March, February and May, and the highest decrease is in September and October under the SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SSP5-8.5. The highest increase in precipitation in the Zidasht station is in March, May and November, April and December under the SSP scenarios. Also, the biggest decrease is in September under the SSP scenarios for the three forecast periods. In Gateh Deh station, the highest increase in precipitation during the periods of 2021-2040 and 2081-2100 is related to March, May and November, and for the period of 2041-2060, it is related to the months of March, February and May under the SSP5-8.5. During the periods of 2021-2040 and 2041-2060, the greatest decrease will be in September under the SSP scenarios, also in the period of 2081-2100, the greatest decrease will be in July under the SSP scenarios and in October, under the SSP5-8.5. During three periods, the greatest increase in Jovestan station precipitation is predicted in February, March, May and November. Also, the greatest decrease in the period of 2021-2040 will be in September and August under the SSP5-8.5 and in the periods of 2041-2060 and 2081-2100 in October and July under the SSP1-2.6. Based on the results of the temperature forecast in Zidasht station during three periods, the average and average maximum temperature in January and February under the SSP scenarios have a decreasing trend and other months show an increasing trend.

Conclusion: The results show that precipitation has a decreasing trend in some months and some increasing trend. The obtained results indicate that the precipitation and temperature variables in the periods of the 2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100 under the SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SSP5-8.5 will experience an increasing trend compared to the base period. The highest increase in temperature and precipitation is in the period of 2021-2040 under scenarios SSP2-4.5 and SSP1-2.6, respectively. This study demonstrates that Taleqan watershed will be vulnerable to future climate change. An increase in temperature can cause snowmelt and reduce snow storage. The stability time of water reserves in the watershed will be reduced. Precipitation changes in the region can alter the precipitation pattern from snow to rain. This reduces surface and underground water, and can affect crop yield.

Keywords: Climate change, Downscaling, Taleqan, SSP scenarios, CMIP6, SDSM

Citation: Mohammadi, P., Malekian, A., Nouri, M. & Rafiei, H. (2025). Simulation of climate change scenarios using the CMIP6 models (Case study: Taleqan Watershed). *Integrated Watershed Management*, 4(3), 30-51. doi= 10.22034/iwm.2024.2022313.1132

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>).





شبیه‌سازی سناریوهای تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)

پروین محمدی^۱، آرش ملکیان^{۲*}، علی سلاجقه^۱، مجتبی نوری^۲، حامد رفیعی^۳

^۱ گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲ شرکت مدیریت منابع آب ایران، تهران، ایران

^۳ گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*نویسنده مسئول: malekian@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷

چکیده مبسوط

مقدمه: صنعتی شدن جوامع منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر شده است. این افزایش باعث گرم شدن جو زمین شده و سایر اجزای سیستم اقلیمی را تحت تأثیر قرار داده و منجر به تغییرات اقلیمی شده است. شواهد نشان می‌دهد که میانگین جهانی دمای زمین به‌ویژه در سال‌های اخیر در حال افزایش است. بنابراین تأثیر تشدید تغییرات اقلیم جهانی بر توسعه و بقای بشریت یک واقعیت غیرقابل انکار است. هدف از این پژوهش، بررسی و پیش‌بینی تغییرات در دهه‌های آینده در حوزه آبخیز طالقان است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز طالقان با توپوگرافی کوهستانی در شمال غرب استان البرز قرار دارد. میزان بارش و درجه حرارت سالانه منطقه به ترتیب ۴۸۵/۸ میلی‌متر و ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد است. برای برآورد و تولید داده‌ها برای دوره آتی (۲۰۲۱-۲۱۰۰)، از داده‌های روزانه ایستگاه‌های منطقه‌ای، از جمله داده‌های بارش با دوره پایه (۱۹۷۹-۲۰۱۴)، و داده‌های میانگین دما با دوره پایه (۲۰۰۳-۲۰۱۴) استفاده گردید. همچنین داده‌های خروجی مدل گردش عمومی (CanESM5) تحت سناریوهای اقلیمی (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5) مورد استفاده قرار گرفت. CanESM5 یک مدل جهانی است که برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی و توسعه پیش‌بینی‌های فصلی و دهه‌ای توسعه یافته است. CanESM5 معمولاً برای پیش‌بینی‌ها در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود؛ بنابراین، SDSM برای کاهش مقیاس داده‌های اقلیمی انتخاب می‌شود. تغییرات پارامترهای میانگین بارش و دما برای سه دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) با مدل ریزمقیاس‌نمایی تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی دقت مدل از RMSE، MAD و R استفاده شد.

نتایج و بحث: بیشترین افزایش بارش در ایستگاه آرموت در ماه‌های مارس، می و نوامبر و بیشترین کاهش بارش در سپتامبر و اکتبر در سناریوهای SSP برای دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پیش‌نگری شده است. در ایستگاه سکرانچال بیشترین افزایش بارش در سه دوره در ماه‌های مارس، فوریه و می و بیشترین کاهش در سپتامبر و اکتبر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 است. بیشترین افزایش بارش در ایستگاه زیدشت در ماه‌های مارس، می و نوامبر، آوریل و دسامبر تحت سناریوهای SSP است. همچنین بیشترین کاهش در سپتامبر تحت سناریوهای SSP برای سه دوره پیش‌نگری شده است. در ایستگاه گندهه بیشترین افزایش بارش در بازه‌های زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مربوط به مارس فوریه و می تحت سناریوی SSP5-8.5 است. در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بیشترین کاهش در سپتامبر تحت سناریوهای SSP است. همچنین در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بیشترین کاهش در جولای در سناریوهای SSP و اکتبر در سناریوی SSP5-8.5 خواهد بود. طی سه دوره، بیشترین افزایش بارش ایستگاه جوستان در فوریه، مارس، می و نوامبر پیش‌بینی می‌شود. بیشترین کاهش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در سپتامبر و آگوست تحت SSP5-8.5 و در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در اکتبر و جولای تحت SSP1-2.6 خواهد بود. بیشترین افزایش بارش ایستگاه دیزان در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در می و آوریل (SSP1-2.6) و بیشترین کاهش در جولای (SSP5-8.5) خواهد بود. برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بیشترین افزایش در می (SSP2-4.5) و ژوئن (SSP1-2.6) و بیشترین کاهش در سپتامبر (SSP5-8.5) است. بیشترین افزایش برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در مارس و آوریل به ترتیب تحت SSP2-4.5 و SSP1-2.6 و بیشترین کاهش در اکتبر تحت SSP5-8.5 است. بر اساس نتایج پیش‌نگری دمای ایستگاه زیدشت طی سه دوره، میانگین و میانگین بیشینه دما در ژانویه و فوریه تحت سناریوهای SSP روند کاهشی و بقیه ماه‌ها روند افزایشی را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که بارش در برخی ماه‌ها روند کاهشی و برخی روند افزایشی دارد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که متغیرهای بارش و دما طی دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 روند افزایشی را نسبت به دوره پایه تجربه خواهند کرد، بیشترین افزایش دما و بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و به ترتیب تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP1-2.6 است. این مطالعه نشان می‌دهد که طالقان در آینده در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر خواهد بود. افزایش دما باعث ذوب برف و کاهش ذخیره برفی می‌شود. زمان پایداری ذخایر آب در حوضه کاهش می‌یابد. تغییرات بارش در منطقه می‌تواند الگوی بارش را از برف به باران تغییر دهد؛ که این امر باعث کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و می‌تواند بر عملکرد محصول تأثیر بگذارد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، طالقان، سناریوهای SSP، CMIP6، SDSM

استناد: محمدی، پ.، ملکیان، آ.، سلاجقه، ع.، نوری، م.؛ و رفیعی، ح. (۱۴۰۳). شبیه‌سازی سناریوهای تغییرات اقلیمی با

استفاده از مدل‌های (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۳)، ۳۰-۵۱

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

شدید شد که آسیب جدی به امنیت غذایی و آب وارد کرد (Funk *et al.*, 2019). فراوانی و شدت خشک‌سالی‌ها سالانه در شمال چین در سال‌های اخیر افزایش یافته است و میلیون‌ها نفر را تحت تأثیر قرار داده و سالانه ده‌ها میلیارد دلار خسارت اقتصادی به بار می‌آورد (Song *et al.*, 2021). منطقه غرب آسیا نیز به واسطه دگرگونی‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و مداخله‌های انسانی، شاهد بحران شدیدی در حوزه منابع آب است (Hanafi, 2023); بنابراین این یک واقعیت غیرقابل انکار است که تشدید تغییرات اقلیمی در سطح جهانی بر توسعه و بقای بشریت تأثیر گذاشته است (Feng & Hu, 2014). بخش‌های مختلف اقتصاد مانند شیلات، صنعت، دامپروری، کشاورزی، بهداشت و سایر بخش‌ها تحت تأثیر تغییرات دما و بارندگی قرار گرفته‌اند؛ بنابراین، ارزیابی بارش و دمای آینده به افزایش ظرفیت برنامه‌ریزی برای تأثیرات اقلیمی کمک خواهد کرد (Wang *et al.*, 2018). راهکار مقابله با خطرات مربوط به کمبود آب، اقدامات سازگاری و ایجاد شرایط توانمندسازی و توسعه تاب‌آوری در برابر آب‌وهوا و همچنین افزایش سطح دانش جوامع و استفاده از هوش مصنوعی در این زمینه است (Sayad, 2023). پیش‌بینی تغییرات پارامترهای بارش و دما پیش‌نیاز ارزیابی تغییرات اقلیمی است. مدل جهانی آب‌وهوا (GCM¹) ابزار اصلی برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی است. با این حال، وضوح افقی مدل‌های GCM عمدتاً در محدوده ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر است که منجر به عملکرد نامطلوب مدل هنگام مشخص کردن ویژگی‌های ناهمگن اقلیمی پیچیده می‌شود؛ بنابراین، نمی‌توان آن‌ها را مستقیماً برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس کوچک استفاده کرد (Karamouz *et al.*, 2013). بزرگنمایی فضایی (سلول‌ها در حدود ۲/۵ درجه) به‌عنوان

صنعتی شدن جوامع منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر شده است. این افزایش باعث گرم شدن جو زمین و گرم شدن جو زمین نیز به نوبه خود بر وضعیت سایر اجزای سیستم اقلیمی تأثیر گذاشته و باعث ایجاد تغییرات اقلیمی شده است (Goodarzi *et al.*, 2022). تغییر اقلیم عبارت است از تغییر رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتار بلندمدت بر اساس اطلاعات ثبت شده در آن منطقه در طول یک افق زمانی. بارش، دمای حداقل و حداکثر سه متغیر آب و هوایی هستند که به‌طور مستقیم تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند (Modaresi *et al.*, 2012). نوسانات اقلیم نوسانات سینوسی پارامترهای اقلیمی در سطح جهانی یا منطقه‌ای محسوب شده و نوعی الگوی اقلیمی به شمار می‌روند. این نوسان‌ها در دما، بارندگی یا دیگر پارامترهای اقلیمی دیده می‌شود و طی دوره معینی از زمان روی می‌دهد (Ramezanipour, 2018). شواهد تأیید می‌کنند که میانگین جهانی دمای زمین به‌ویژه در سال‌های اخیر در حال افزایش است (Cheng *et al.*, 2019). فراتر از آن، بارش در طول زمان از نظر شدت تغییر کرده است. انتظار می‌رود تغییرات دما و بارش باعث ایجاد یک سری رویدادهای حدی اقلیمی شود (Kodinariya and Kodinariya, 2021; Duan *et al.*, 2021; Makwana, 2013). موج‌های گرما و خشک‌سالی افزایش یافته است و رخدادهای سیل به‌ویژه در مناطق شهری بیش‌تر شده‌اند (Guptha *et al.*, 2022; Swain, 2022; Patel *et al.*, 2021, 2022; Nandi & Sahoo *et al.*, 2022). تغییرات اقلیمی و به عبارتی بارش ناکافی یا دمای زیاد ممکن است منجر به خشک‌سالی شود که بلائای طبیعی با فراوانی زیاد، مدت طولانی و پوشش وسیع است (Liu *et al.*, 2021). به‌عنوان مثال، آفریقا در سال ۲۰۱۹ دچار خشک‌سالی

¹. General Circulation Model

مدل CanESM2⁵ و روش مقیاس‌سازی آماری را در حوضه آذرشهر بررسی کردند. نتایج نشان داد که دوره بازگشت سیلاب‌های شدید در آینده کاهش خواهد یافت. Zarrin و همکاران (۲۰۲۱) پارامتر دما را با مدل‌های MRI-CAMS-CSM1-0⁷، BCC-CSM2-MR⁶ و ESM2-0⁸ تحت سناریوهای SSP⁹ در ۴۳ ایستگاه همدید ایران بررسی کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده روند افزایشی دما در ایران است. Sarabi و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر بارش در حوضه سد طرق با مدل‌های CMIP6¹⁰ پرداخته‌اند. نتایج مقدار بارش در دوره ۲۰۴۰ - ۲۰۲۱ تحت سناریو SSP5-8.5 افزایشی بوده، در حالی که تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP3-7.0 تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای نداشته‌اند. در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ بارش تحت سناریو SSP1-2.6 افزایشی و تحت دو سناریو SSP3-7.0 و SSP5-8.5 کاهش‌ی است. Niroumand fard و همکاران (۲۰۲۲) برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش ایستگاه بیرجند از مدل‌های MIROC-ES2L¹¹، IPSL-CM6A-LR¹² و MRI-ESM2-0¹³ استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد تغییرات دما در دوره آبی روند افزایشی و بارش در برخی ماه‌ها افزایشی و در برخی کاهش‌ی بوده، به‌طور کلی میانگین مجموع بارش‌های ماهانه در آینده تحت سناریوهای SSP روند افزایشی داشته است. Roshani و Hamidi (۲۰۲۲) در تحقیق خود شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش ایستگاه ساری را با استفاده از مدل‌های CMIP6 و مدل LARS-WG¹⁴ را برای

یکی از نقاط ضعف این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود (IPCC *et al.*, 2014). برای غلبه بر این مشکل، روش‌های کاهش مقیاس به تدریج پیشنهاد شده‌اند. روش‌های کاهش مقیاس یک فناوری است که به وسیله آن اطلاعات مربوط به تغییرات اقلیمی در مقیاس بزرگ با عوامل جغرافیایی منطقه‌ای ترکیب می‌شود تا اطلاعات اقلیمی فضایی بسیار دقیق به دست آید، در حال حاضر، روش‌های اصلی کاهش مقیاس، دینامیکی و آماری می‌باشند (Rummukainen, 2010)؛ بنابراین، افزایش مداوم انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش تغییرات اقلیمی می‌شود، الگوهای بارندگی را تغییر می‌دهد، ذوب برف را تسریع می‌کند و در نتیجه بر دسترسی به آب آشامیدنی و آبیاری تأثیر می‌گذارد. گرم شدن کره زمین و تأثیر آن بر بارندگی در نقاط مختلف جهان به‌عنوان مهم‌ترین مظاهر تغییر اقلیم از اهمیت بالایی برخوردار است (Dao *et al.*, 2023). در سال‌های اخیر گروه‌های مختلفی از دانشمندان در سراسر جهان مطالعات زیادی در زمینه مدل‌های گردش عمومی برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استفاده کرده‌اند؛ که برخی از آن‌ها به شرح زیر خلاصه می‌شود:

Singh و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل‌های HadCM3¹، CGCM3² و SDSM³، اثرات تغییر اقلیم در حوضه رودخانه سوت لچ⁴ را بررسی کردند. در مطالعه آن‌ها، افزایش کلی در میانگین سالانه دما و بارندگی در دو مدل پیش‌بینی شده است. Goodarzi و همکاران (۲۰۲۰) پیامدهای تغییر اقلیم آبی بر حجم سیلاب را با

⁹. Shared Socio-economic Pathways

¹⁰. Coupled Model Intercomparison Project Phase6

¹¹. Model Interdisciplinary Research on Climate-Earth System version2 for Long-term simulations

¹². Institut Pierre-Simon Laplace-Climate model6

Atmospheric -low resolution

¹³. Climate Model data for hydrologic modeling

¹⁴. Long Ashton Research Station Weather Generator

¹. Hadley Centre Coupled Model

². Coupled Global Climate Model

³. Statistical DownScaling Model

⁴. Sutlej River

⁵. Canadian Earth System Model2

⁶. Beijing Climate Center Climate System Model2

⁷. Climate Academy of Meteorological Sciences -

Climate Simulation Model-0

⁸. Meteorological Research Institute-Earth System Model2-0

مدل‌های CMCC-ESM2 و HADGEM3-GC31-LL در سناریوی SSP5-8.5 به ترتیب افزایش و کاهش بارش-رواناب را پیش‌بینی کرده‌اند. Shoja و Shamsipour (۲۰۲۳) اثر تغییر اقلیم را بر میزان بارش حوضه‌های تأمین‌کننده آب تهران در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ با استفاده از مدل‌های CanESM5، CNRM-CM6-1³، MRI-ESM2-0 و MIROC6⁴ و LS⁵ و DM⁶ بررسی کرده‌اند. نتایج افزایش بارش در بهار تحت سناریوی SSP2-4.5 و کاهش تحت سناریوی SSP5-8.5 را نشان داده است.

گرمایش جهانی منجر به بلایای آب و هوایی مکرر مانند بارش شدید/کم، دمای زیاد، خشک‌سالی شدید، موج گرما و مرگومیر ناشی از آن و همچنین اختلال در تولید کشاورزی/غذا می‌شود که منجر به خسارات ناشی از بلایای گسترده در سراسر منطقه می‌شود. لازم به ذکر است که نتایج مدل‌های فاز ششم تغییر اقلیم اخیراً منتشر شده و اکنون در دسترس است. در این مرحله از ترکیب انتشار گازهای گلخانه‌ای و مسیرهای اجتماعی-اقتصادی برای سناریوها استفاده شده است (Riahi et al., 2017). باین‌حال، مطالعات کمی نتایج این مدل‌ها را در مورد وضعیت دما و بارش حوزه آبخیز بررسی کرده‌اند. از آنجایی که ارزیابی اثرات محیطی تغییر اقلیم بر منابع آب و اجزای بیولوژیکی جزء لاینفک تحقیقات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی در قرن بیست و یکم است، بررسی اثرات تغییر اقلیم برای اتخاذ سیاست‌های مناسب برای کاهش اثرات تغییر اقلیم حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی این تغییرات در دهه‌های آینده (۲۰۲۲-۲۱۰۰) با استفاده از مدل ریزمقیاس SDSM در ایستگاه‌های حوضه طالقان

دوره‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بررسی کرده‌اند که نتایج نشان‌دهنده‌ی افزایش دما و بارش بوده است. Iranshahi و همکاران (۲۰۲۲) اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش را دو ایستگاه الشتر و خرم‌آباد با استفاده از شبکه عصبی و مدل MRI-ESM2 تحت سناریوهای SSP ارزیابی کرده‌اند. با توجه به نتایج، دما و بارش به ترتیب روند افزایشی کاهشی خواهند داشت. ErshadFath و همکاران (۲۰۲۲) اقدام به پیش‌نگری پارامترهای دما و بارش در منطقه همدان با استفاده از مدل‌های CMIP6 و ریزمقیاس نمایی خطی تحت سناریوهای SSP نمودند. نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش بارش در پاییز و تابستان و افزایش بارش در فصل بهار است، همچنین دما روند افزایشی داشته و بیش‌ترین افزایش دما مربوط به فصل زمستان است. Kamruzzaman و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای، از ۱۸ مدل آب‌وهوای جهانی (GCM) برای پیش‌بینی بارش، حداکثر دما و حداقل دما تحت سناریوهای SSP در بنگلادش استفاده کردند. نتایج نشان داد که دما و بارش برای دوره آبی روند افزایشی خواهد داشت. Mo و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی روند خشک‌سالی در حوضه کارست رودخانه چنگبی^۱ با مدل‌های GCM و مدل ASD تحت سناریوهای SSP پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده افزایش بارش و دما برای دوره‌های آبی است. Hassani و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیق خود به تأثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب شهری تهران با استفاده از مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 و مدل‌های LARS-WG و SWMM^۲ پرداخته‌اند. نتایج نشان داده است که بر اساس سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 بارش در برخی ماه‌ها افزایشی و در برخی کاهشی پیش‌بینی شده است. نتایج

⁴. Model for Interdisciplinary Research on Climate6

⁵. Linear Scaling

⁶. Distribution Mapping

¹. Changbai River

². Storm Water Management Model

³. Centre National de Recherches Météorologiques Coupled Model6-1

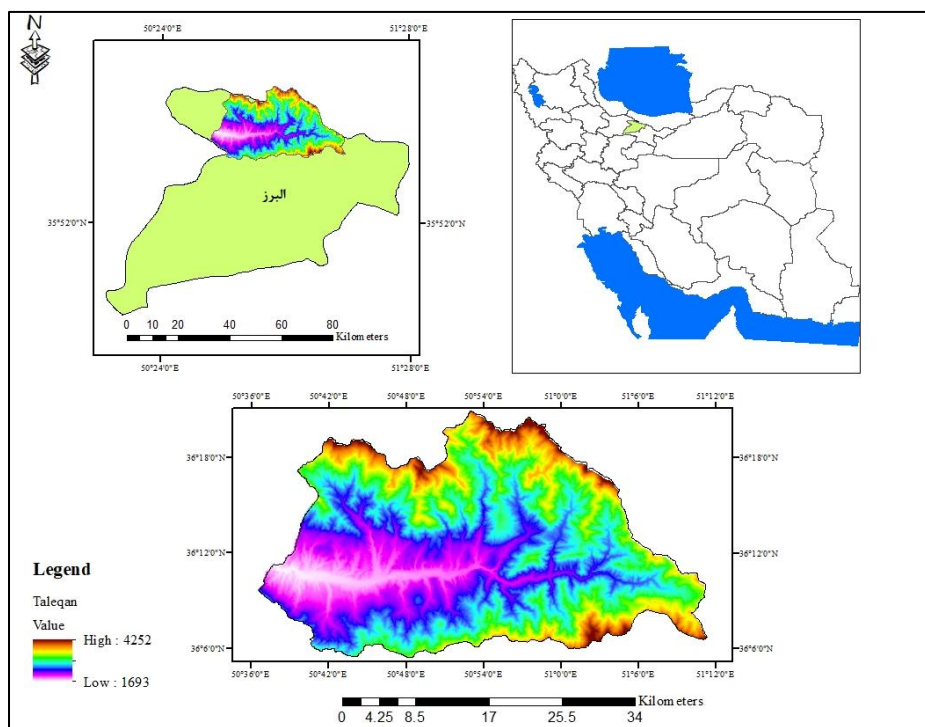
ساوجبلاغ، از شرق به بخشی از حوزه آبخیز کرج و از غرب به حوزه آبخیز شاهرود محدود گردیده است. بر اساس داده‌های هواشناسی میزان بارش و درجه حرارت سالانه منطقه به ترتیب ۴۸۵/۸ میلی‌متر و ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۳۵ متر است. موقعیت جغرافیایی منطقه در شکل (۱) نمایش داده شده است. در این تحقیق داده‌های هواشناسی موردنیاز از شش ایستگاه باران‌سنجی در طالقان به دست آمده است. داده‌های مورد استفاده شامل بارش، دمای حداقل و حداکثر دما است. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز در جدول (۱) مشاهده می‌شوند.

است. از آنجایی که گزارش پنجم IPCC در مطالعات تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته‌است، در این مطالعه سعی شده است این اثرات تحت تأثیر گزارش ششم بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز طالقان از نظر توپوگرافی کوهستانی بوده و در شمال غرب استان البرز واقع شده است. این آبخیز از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز سفیدرود است که از شمال به آبخیز الموت، از جنوب به منطقه



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شد.

GCMها و داده‌های استفاده شده: به منظور برآورد و تولید داده‌های آبی (۲۰۲۱-۲۱۰۰) داده‌های روزانه ایستگاه‌های منطقه شامل داده‌های بارش با دوره پایه

به منظور بررسی تغییرات اقلیم آبی، میانگین پارامترهای بارش، Tmax، Tmin و Tmean ایستگاه‌های هواشناسی حوضه طالقان از مدل اقلیمی CanESM5 و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری برای سه دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰،

حد زیادی کاهش می‌دهد (Drobinski *et al.*, 2018)؛ بنابراین، کاهش مقیاس آماری برای کاهش مقیاس داده‌های اقلیمی GCM انتخاب شده است. سناریوهای SSP سناریوهای جدید مدل GCM هستند. سناریوهای SSP نه تنها به تغییرات اقلیمی در آینده مربوط می‌شود، بلکه تأثیر عوامل مختلفی از جمله جمعیت، محیط‌زیست، توسعه اقتصادی و مدیریت دولتی را در نظر گرفته و تغییرات آینده را به طور جامع‌تری منعکس می‌کند. (O'Neill *et al.*, 2014).

SSP 1-2.6: توافقنامه پاریس که بر محدود کردن گرمایش جهانی به 2°C تا سال ۲۱۰۰ تمرکز دارد (Meinshausen *et al.*, 2011) و مربوط به سناریوی SSP1-2.6 است. SSP1-2.6 تکامل نسبتاً خوش‌بینانه آینده جامعه را به سمت پایداری با گسترش قابل توجه اقتصاد، سرمایه‌گذاری در بهداشت و آموزش و مدیریت قوی فرض می‌کند (O'Neill *et al.*, 2016). این مسیری است که پیش‌بینی می‌کند جهان برای مبارزه با تغییرات اقلیمی همکاری خواهد کرد (Riahi *et al.*, 2017).

SSP2-4.5: یک سناریوی "میان‌ه" با اقدامات اقلیمی کشورها برای انجام تعهدات موجود خود برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است (Riahi *et al.*, 2017). در SSP2-4.5، انتظار می‌رود که نیروی تابشی کل تا سال ۲۰۷۰ به حدود $4/5 \text{ W/m}^2$ افزایش و سپس کاهش یابد؛ که این امر منجر به کاهش تولید مواد غذایی در سراسر جهان به دلیل گرمای شدیدتر و سیل‌های فاجعه‌بار ناشی از بارش شدید شود (Riahi *et al.*, 2017).

SSP5-8.5: تحت این سناریو، بشریت تمایل دارد کاری در مورد تغییرات اقلیمی انجام ندهد، اما دائماً آن را بدتر می‌کند (Riahi *et al.*, 2017). این سناریو رشد اقتصادی جهانی را با سوخت گاز طبیعی، نفت و سوزاندن

(۱۹۷۹-۲۰۱۴) میانگین دما، حداقل دما و حداکثر دما با دوره پایه (۲۰۱۴-۲۰۳۰) و داده‌های خروجی مدل گردش عمومی تحت سه سناریوی اقلیمی (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5) استفاده شد. انتخاب دوره پایه به دلیل محدودیت دوره تاریخی مدل‌های CMIP6 تا سال ۲۰۱۴ و وجود داده‌های اندازه‌گیری شده در این دوره آماری است. در حال حاضر، قابل‌اعتمادترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش عمومی جوی-اقیانوسی (AOGCM^1) هستند (Pervez & Henebry, 2014).

یکی از مدل‌های چرخه عمومی اتمسفر مورد استفاده در این مطالعه، مدل CanESM5 است. CanESM5 یک مدل جهانی است که برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیم تاریخی، پیش‌نگری‌ها در مقیاس ۱۰۰ ساله اقلیم آینده و تولید پیش‌بینی‌های فصلی و دهه‌ای توسعه یافته است. CanESM5 شامل مدل‌های جوی سه‌بعدی و گردش عمومی اقیانوس و مدل‌های چرخه کربن زمین و اقیانوس است. این مدل دارای دقت نسبتاً زیاد و توان عملیاتی قابل توجه است که تولید مجموعه‌های بزرگ را تسهیل می‌کند. CanESM5 ($5/6^0\text{k}$) نسبت به مدل قبلی خود CanESM2 ($3/7^0\text{k}$) حساسیت اقلیمی بیشتری دارد (Swart *et al.*, 2019).

مدل جهانی اقلیمی معمولاً برای پیش‌بینی‌های اقلیم در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود، اما می‌تواند تغییرات اقلیم منطقه‌ای را پس از کاهش مقیاس پیش‌بینی کند. کاهش مقیاس آماری برای تسهیل تعبیه مدل اقلیمی منطقه‌ای در GCM استفاده می‌شود، مدل مذکور رابطه آماری بین عوامل اقلیمی در مقیاس بزرگ و داده‌های اقلیمی مشاهده‌شده در ایستگاه‌های منطقه‌ای ایجاد می‌کند، همچنین میزان خطاهای محاسباتی خروجی GCM را تا

¹. Atmospheric General Circulation Models

و بارش) با استفاده از GCMs و پیش‌بینی‌کننده‌های NCEP¹ انتخاب شده در مرحله اول، شبیه‌سازی شدند. ارزیابی عملکرد مدل: در این مطالعه از معیارهای ارزیابی مختلف برای بررسی عملکرد مدل استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE²)، میانگین قدر مطلق خطا (MAD³) و ضریب تعیین (R) برای ارزیابی دقت مدل استفاده شد (Chai & Draxler, 2014). روابط ۱ و ۲ آن‌ها را نشان می‌دهد. هر چه مقدار MAD کمتر باشد دقت مدل بهتر خواهد بود. RMSE به‌عنوان یک برازش مناسب برای نشان دادن انحراف استاندارد داده‌های مدل‌سازی شده و مشاهده شده استفاده شد. به این ترتیب، زمانی که RMSE کوچک‌تر باشد، عملکرد مدل افزایش می‌یابد. همچنین، R برای ارزیابی خوب بودن برازش داده‌های مدل شده و مشاهده شده استفاده شد. وقتی R به یک نزدیک می‌شود، عملکرد مدل افزایش می‌یابد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (2)$$

زغال‌سنگ پیش‌بینی می‌کند. نتیجه جهانی این است که تا پایان قرن بیست و یکم دما ۳/۳°C الی ۵/۷°C نسبت به سال ۱۹۵۰ گرم خواهد شد (Riahi et al., 2017). در این سناریو، طغیان ساحلی در مقیاس بزرگ و تغییرات اقلیمی بسیار مخرب پیش‌بینی می‌شود.

مدل آماری SDSM: مدل کاهش مقیاس آماری یک رویکرد کاهش مقیاس ترکیبی رگرسیون چندگانه است که توسط Wilby و همکاران (۲۰۰۲) توسعه داده شد و روابط ریاضی توسط Wilby و Dawson (۲۰۱۳) توضیح داده شده است. مدل یک رابطه تجربی بین پیش‌بینی‌کننده‌های GCM و پیش‌بینی‌کننده‌های مقیاس منطقه‌ای برای کاهش مقیاس متغیرهای اقلیمی ایجاد می‌کند. کاهش مقیاس متغیرهای اقلیمی شامل دو گام عمده است. ابتدا، رابطه تجربی بین پیش‌ران‌های بزرگ مقیاس و پیش‌بینی‌کننده‌های ایستگاه منطقه‌ای (بارش و دما) از طریق فرآیندهایی مانند کنترل کیفیت، غربالگری، تبدیل و انتخاب پیش‌بینی‌کننده، واسنجی و مولد آب‌وهوا با استفاده از پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهده شده برقرار شد. دوم، داده‌های اقلیمی آینده (دما

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of meteorological stations in the study area

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
Row	Station name	Latitude	Longitude	Elevation (m)
1	آرموت	504000	361200	1850
2	جوستان	505343	361122	1984
3	دیزان	505900	361600	1950
4	سکرانچال	504400	361700	2200
5	گته ده	510300	361100	2600
6	زیدشت	504146	360929	1931

³. Mean absolute deviation

¹. National Centers for Environmental Prediction

². Root Mean Squared Error

جدول ۲- مدل‌های CMIP6 به همراه وضوح افقی و کشور مبدأ

Table 2- CMIP6 models along with horizontal resolution and country of origin

کشور توسعه‌دهنده Developer country	وضوح افقی Resolution	مسیرهای اجتماعی و اقتصادی مشترک	سطوح فشار (hPa) Pressure level	حساسیت اقلیمی Climatic sensitivity	مدل Model
Canada	2.8*2.8	SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	500, 850, 1000	5.6	CanESM5
Norway	2.5*1.9	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	500, 850, 1000	2.5	NorESM2-MM
Germany	0.9*0.9	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	500, 850, 1000	3	MPI-ESM1.2-HR

نتایج

مدل در پیش‌بینی بارش از دقت کمتری برخوردار است، وقوع بارش و مقدار آن یک پدیده تصادفی است، به این دلیل ضرایب به‌دست‌آمده در ارزیابی مدل برای متغیر بارش از دما کمتر است.

ارزیابی عملکرد مدل: با توجه به مقادیر جدول (۳)، ضرایب RMSE، MAD و R نشان داده است که مدل به‌خوبی مقادیر درجه حرارت را پیش‌بینی کرده است اما

جدول ۳- نتایج معیارهای آماری ارزیابی دقت مدل برای پارامترهای دما و بارش

Table 3- Results of the statistical criteria for evaluating the accuracy of the model for temperature and precipitation parameters

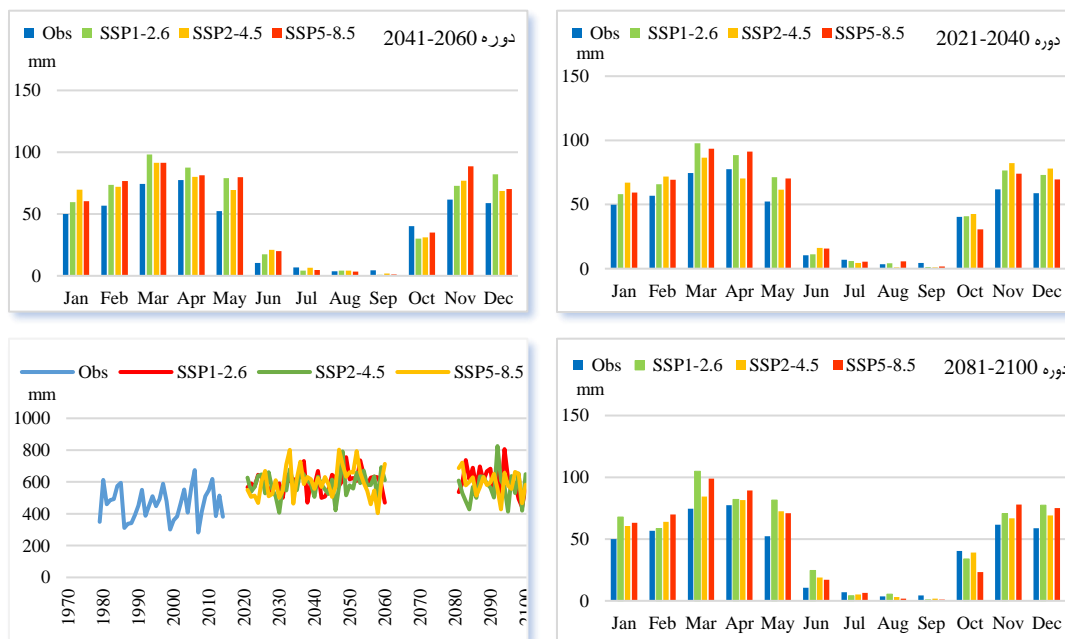
متغیر Variable	بارش Precipitation						دما Temperature			
	ایستگاه	زیدشت	دیزان	جوستان	گتته ده	سکرانچال	آرموت	زیدشت- مینیم	زیدشت- ماکزیمم	زیدشت- میانگین
MAD		2.103	3.345	2.324	3.124	2.147	2.135	6.085	3.630	3.048
RMSE		5.314	7.338	5.648	7.308	5.215	5.337	7.032	4.610	3.932
R		0.19	0.20	0.17	0.17	0.16	0.18	0.89	0.90	0.91

مشاهده می‌شود که طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (آینده نزدیک) همه ماه‌ها به‌جز جولای و سپتامبر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5، آگوست و آوریل تحت سناریوی SSP2-4.5 و اکتبر تحت سناریوهای SSP5-8.5، در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ (آینده متوسط) همه ماه‌ها به‌جز جولای، سپتامبر و اکتبر تحت سه سناریوی SSP و آگوست تحت سناریوی SSP5-8.5 نسبت به دوره پایه روند افزایشی نشان می‌دهند. همچنین در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ (آینده دور) همه ماه‌ها به‌جز آگوست، سپتامبر و اکتبر تحت سه سناریوی SSP و آگوست تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نسبت

پیش‌نگری تغییرات بارش و دما تحت سناریوهای SSP1 تا سال ۲۱۰۰: پس از ارزیابی دقت مدل اقلیمی CanESM5 برای منطقه مورد مطالعه نتایج این مدل برای سه دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) ریزمقیاس‌نمایی شد. به منظور بررسی تغییرات میانگین پارامترهای بارش، Tmax، Tmin و Tmean آتی نتایج ریزمقیاس‌نمایی تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه ارزیابی شدند. در شکل (۲) نتایج پیش‌نگری میانگین بارش ماهانه تحت سناریوهای اقلیمی در ایستگاه آرموت آورده شده است،

می‌دهد که طی دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بیشترین میزان افزایش بارش به ترتیب تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP5-8.5 و SSP1-2.6 خواهد بود. همچنین بیشترین افزایش میانگین بارش تا سال ۲۱۰۰ طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ تحت سناریوی SSP5-8.5 پیش‌نگری شده است.

به دوره پایه افزایش بارش را نشان می‌دهند. بیشترین افزایش بارش مربوط به ماه‌های مارس، می و نوامبر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نسبت به دوره پایه است، همچنین بیشترین کاهش میانگین بارش در ماه‌های سپتامبر و اکتبر تحت سه سناریوی SSP برای دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پیش‌نگری شده است. بررسی نتایج نشان



شکل ۲- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی بارش در ایستگاه آرموت

Figure 2- Comparison of monthly average of simulated and observed precipitation values at Armot station

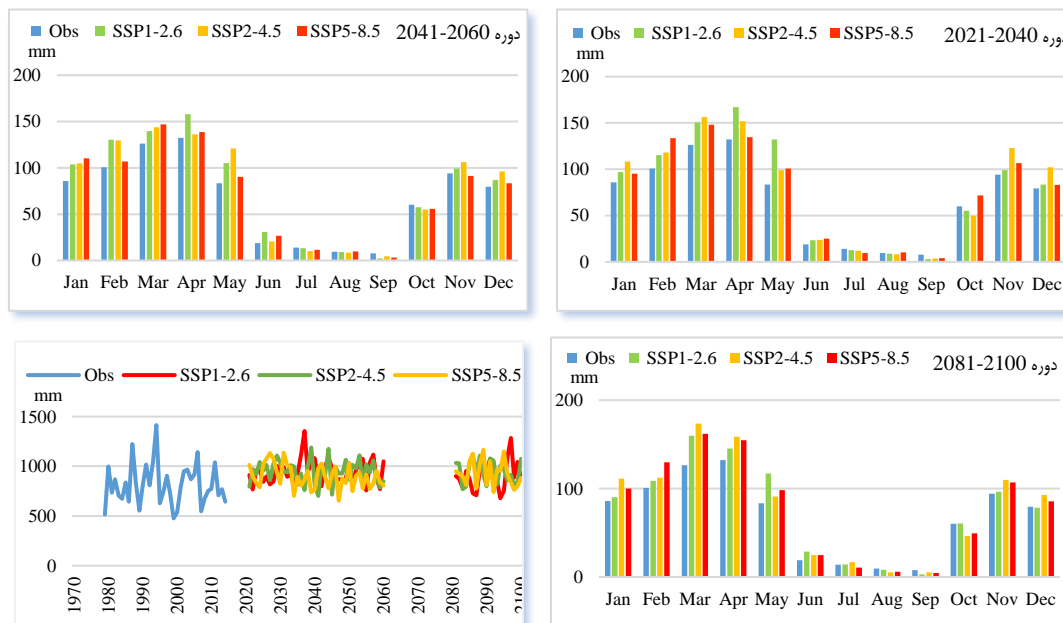
سپتامبر تحت سه سناریوی SSP، اکتبر تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5، جولای تحت سناریوی SSP5-8.5 و دسامبر تحت سناریوی SSP1-2.6 نسبت به دوره پایه روند افزایشی نشان می‌دهند. بیشترین افزایش بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ مربوط به ماه‌های می و آوریل (SSP1-2.6) و بیشترین کاهش در ماه جولای (SSP5-8.5) نسبت به دوره پایه خواهد بود. برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های می (SSP2-4.5) و ژوئن (SSP1-2.6) و بیشترین کاهش در سپتامبر (SSP5-8.5) است. همچنین بیشترین افزایش برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در ماه‌های مارس و آوریل به ترتیب تحت

مطابق شکل (۳) میانگین بارش ماهانه در ایستگاه دیزان طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در همه ماه‌ها به جز جولای، سپتامبر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و ماه‌های آگوست و اکتبر تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 نسبت به دوره پایه دارای روند افزایشی بوده، طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ همه ماه به جز جولای، اکتبر و سپتامبر تحت سه سناریوی SSP، آگوست تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و نوامبر تحت سناریوی SSP5-8.5 روند افزایشی برای بارش پیش‌نگری کرده‌اند، همچنین میانگین بارش ماهانه طی دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در تمام ماه‌ها به جز آگوست و

محمدی و همکاران

افزایش بارش طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی SSP2-4.5 را نشان می‌دهد.

سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 و بیشترین کاهش در اکتبر تحت سناریوی SSP5-8.5 پیش‌نگری شده است. نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌نگری بارش، بیشترین میزان



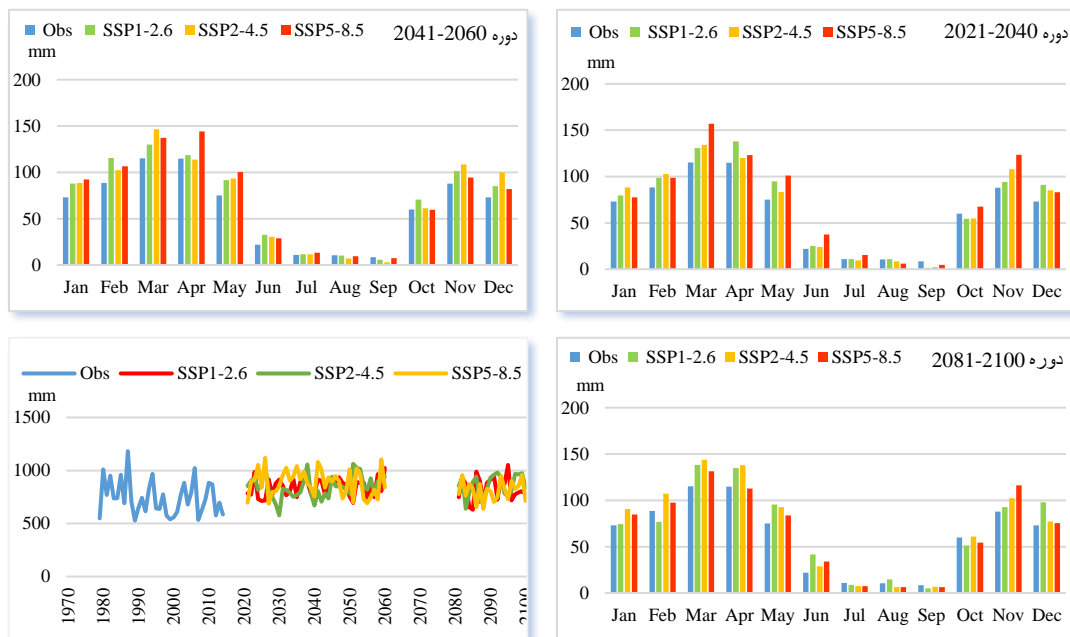
شکل ۳- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی بارش در ایستگاه دیزان

Figure 3- Comparison of monthly average of simulated and observed precipitation values at Dizan station

دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ مربوط به ماه‌های مارس، می و نوامبر و بیشترین کاهش در ماه سپتامبر تحت سه سناریوی SSP و ماه اکتبر (SSP1-2.6 و SSP2-4.5) نسبت به دوره پایه است؛ و برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های مارس فوریه و می تحت سناریوی SSP5-8.5 و بیشترین کاهش در سپتامبر تحت سه سناریوی SSP نسبت به دوره پایه است. همچنین بیشترین افزایش برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در ماه‌های مارس، نوامبر و می تحت سه سناریوی SSP و بیشترین کاهش در ماه جولای تحت سه سناریوی SSP و اکتبر تحت سناریوی SSP5-8.5 خواهد بود. نتایج پیش‌نگری در شکل (۴) ارائه شده است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده از میانگین بارش، بارندگی طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی SSP5-

بررسی نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌نگری میانگین بارش ماهانه در ایستگاه گته‌ده نشان می‌دهد که طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ همه ماه‌ها به‌جز سپتامبر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5، جولای (SSP2-4.5)، آگوست (SSP2-4.5 و SSP5-8.5) و اکتبر (SSP1-2.6 و SSP2-4.5) روند افزایشی خواهد داشت، طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ همه ماه‌ها به‌جز آگوست و سپتامبر تحت سه سناریوی SSP و اکتبر تحت سناریوی SSP5-8.5 روند افزایشی داشته، همچنین طی دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بارش در ماه‌های جولای و سپتامبر تحت سه سناریوی SSP، ماه آگوست تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5، ماه‌های آوریل و اکتبر تحت سناریوی SSP5-8.5 و فوریه تحت سناریوی SSP1-2.6 نسبت به دوره پایه روند کاهشی و سایر ماه‌ها روند افزایشی تجربه خواهند کرد. با توجه به پیش‌نگری بارش بیشترین افزایش بارش طی

8.5 بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد.



شکل ۴- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بارش در ایستگاه گنده

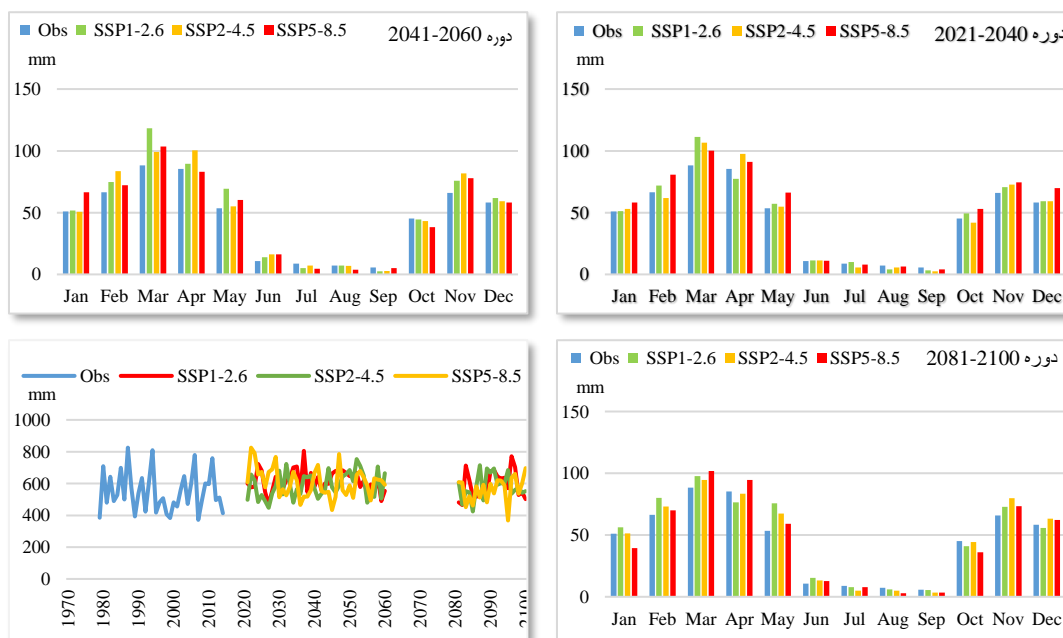
Figure4- Comparison of monthly average of simulated and observed precipitation values at Gateh Deh station

سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 روند کاهشی نشان می‌دهد. میانگین بارش طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بیشترین افزایش را در ماه‌های مارس (SSP1-2.6)، نوامبر و می (SSP5-8.5) و بیشترین کاهش را در ماه‌های سپتامبر و آگوست تحت سناریوی SSP5-8.5 نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد. برای دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های فوریه، مارس، می و نوامبر تحت سه سناریوی SSP و بیشترین کاهش در ماه‌های اکتبر و جولای تحت سناریوی SSP1-2.6 است. بیشترین افزایش میانگین بارش طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریو SSP5-8.5 و در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی SSP1-2.6 پیش‌نگری شده است. همچنین دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریوی SSP5-8.5 بیشترین افزایش میانگین بارش را نشان می‌دهد.

شکل (۵) نتایج پیش‌نگری میانگین بارش ماهانه در ایستگاه جوستان را نشان داده است، نتایج حاکی از آن است که میانگین بارش ماهانه طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در همه ماه‌ها به جز آگوست و سپتامبر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5، جولای تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5، اکتبر و فوریه تحت سناریوی SSP2-4.5 و آوریل تحت سناریوی SSP1-2.6 نسبت به دوره پایه دارای روند افزایشی بوده، میانگین بارش ماهانه در دو دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در همه ماه‌ها به جز جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر تحت سه سناریوی SSP روند افزایشی روند افزایشی نشان می‌دهند. بر اساس نتایج پیش‌نگری میانگین بارش طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ در ماه‌های ژانویه تحت سناریوهای SSP2-4.5 و آوریل تحت سناریوی SSP5-8.5، روند کاهشی بوده، همچنین طی دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در ماه‌های ژانویه تحت سناریوی SSP5-8.5 و آوریل تحت

ماه‌های می و آوریل تحت سناریوی SSP1-2.6 نسبت به دوره پایه روند کاهشی و سایر ماه‌ها روند افزایشی بارش را نشان می‌دهند. بیشترین افزایش بارش در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مربوط به ماه‌های مارس، فوریه و می تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و بیشترین کاهش در ماه‌های سپتامبر و اکتبر تحت سه سناریوی SSP نسبت به دوره پایه است. نتایج پیش‌نگری در شکل (۶) نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین افزایش بارش طی دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی SSP2-4.5 است.

در ایستگاه سکرانچال نیز پیش‌نگری میانگین بارش ماهانه طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در همه ماه‌ها به جز آگوست و جولای تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5، اکتبر تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 و دسامبر تحت سناریوی SSP5-8.5 نسبت به دوره پایه دارای روند افزایشی بوده، طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ همه ماه‌ها به جز جولای، نوامبر و سپتامبر تحت سه سناریوی SSP، آگوست تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 و آوریل تحت سناریوی SSP2-4.5 روند افزایشی داشته‌اند، همچنین در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین بارش ماهانه در ماه‌های اکتبر و سپتامبر تحت سه سناریوی SSP، ماه‌های نوامبر و جولای تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و

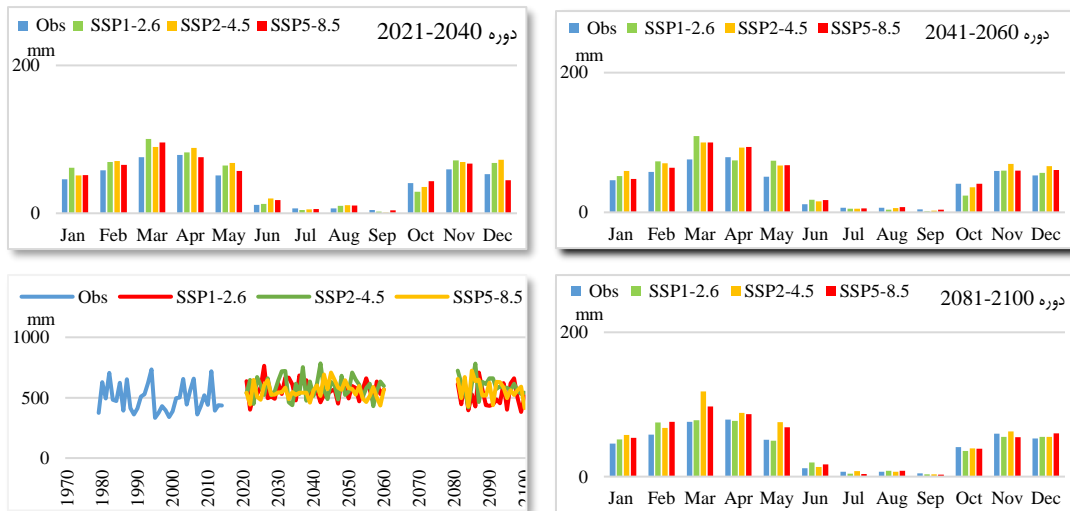


شکل ۵- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بارش در ایستگاه جوستان

Figure 5- Comparison of monthly average of simulated and observed precipitation values at Jovestsn station

متوسط و آینده دور را تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نشان داده است.

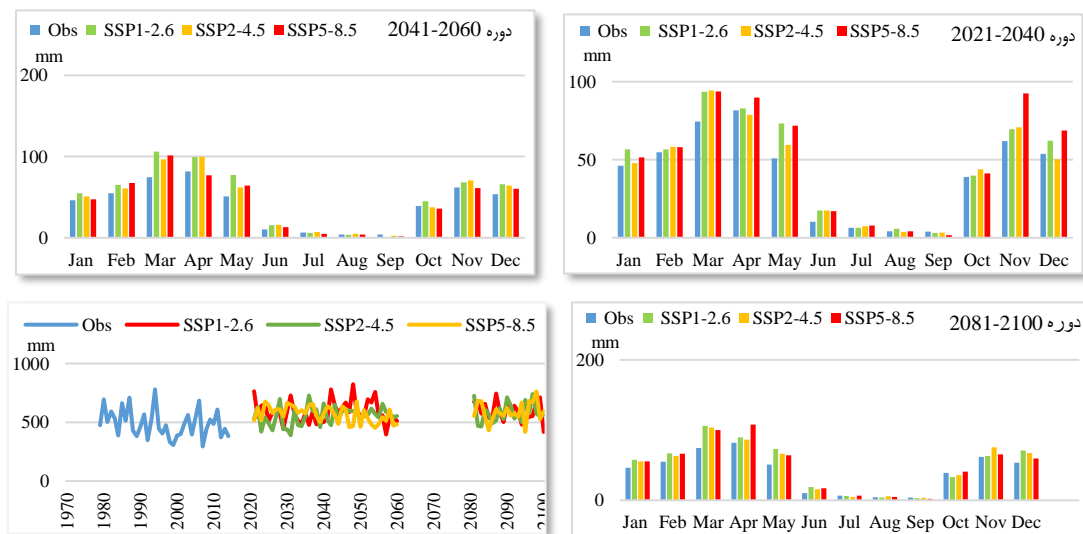
شکل (۸) نتایج پیش‌نگری میانگین بیشینه درجه حرارت ماهانه در ایستگاه زیدشت در سه دوره آینده دور، آینده



شکل ۶- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی بارش در ایستگاه سکرانچال
 Figure 6- Comparison of monthly average of simulated and observed precipitation values at Sekranchal station

۲۰۸۱ طی ماه‌های جولای و سپتامبر نسبت به دوره پایه پیش‌نگری شده است. نتایج نشان داد که طی دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بیشترین افزایش درجه حرارت بیشینه به ترتیب تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 رخ خواهد داد. همچنین دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ تحت سناریوی SSP5-8.5 بیشترین افزایش درجه حرارت بیشینه را نشان می‌دهد.

بررسی نتایج نشان داد بیشینه درجه حرارت طی دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (آینده نزدیک)، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ (آینده متوسط) و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ (آینده دور) در ماه‌های ژانویه و فوریه روند کاهشی داشته و بقیه ماه‌ها روند افزایشی نشان می‌دهند. بیش‌ترین افزایش در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ترتیب در ماه‌های اکتبر و جولای و ماه‌های اکتبر، آگوست و در دوره ۲۱۰۰-

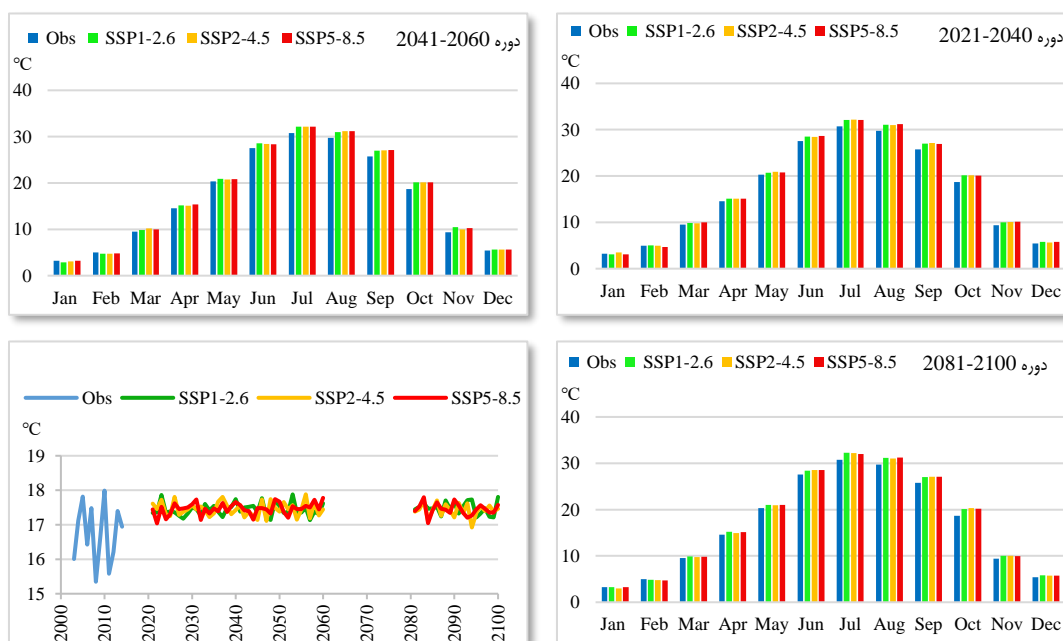


شکل ۷- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی بارش در ایستگاه زیدشت
 Figure 7- Comparison of monthly average of simulated and observed precipitation values at Zidasht station

محمدی و همکاران

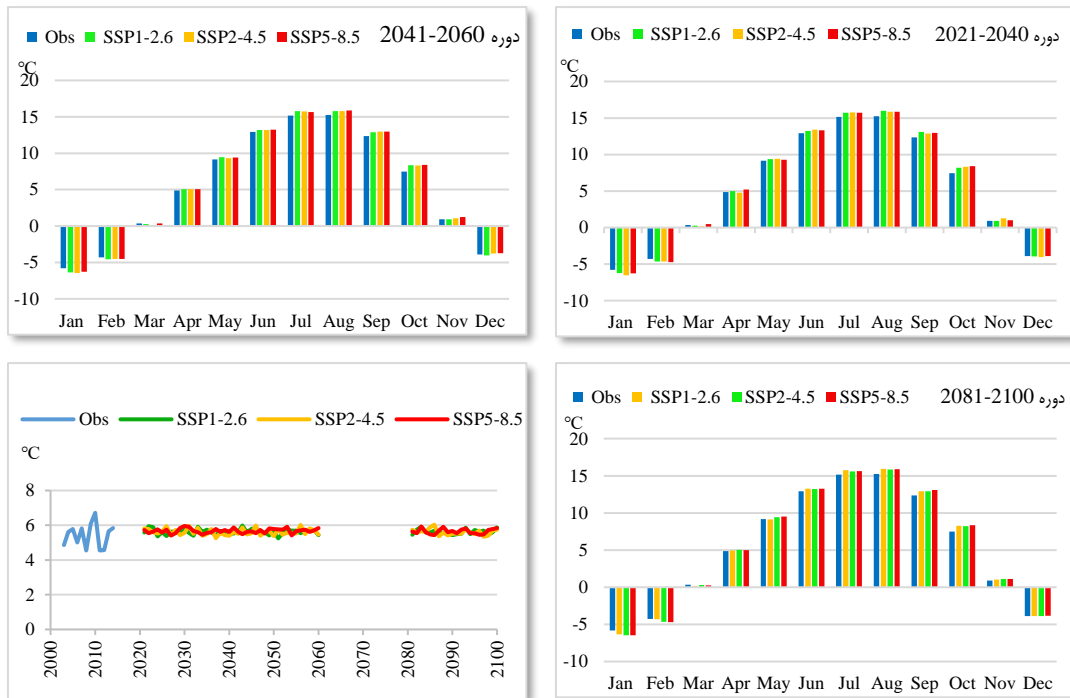
SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و ماه دسامبر تحت سناریوی SSP1-2.6 روند کاهشی را نشان می‌دهند. درجه حرارت در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ مربوط به ماه‌های اکتبر، سپتامبر و آگوست تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه خواهد داشت. مطابق نتایج به دست آمده از درجه حرارت کمینه، دما طی دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی SSP5-8.5 بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد.

مطابق نتایج شکل (۹) میانگین کمینه درجه حرارت ماهانه در ایستگاه زیدشت طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در ماه‌های ژانویه، فوریه دسامبر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5، مارس تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 و آوریل تحت سناریوی SSP2-4.5 روند کاهشی داشته، دما طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و ماه دسامبر تحت سناریوی SSP1-2.6 روند کاهشی داشته، همچنین در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین بیشینه درجه حرارت ماهانه طی ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس تحت سناریوهای

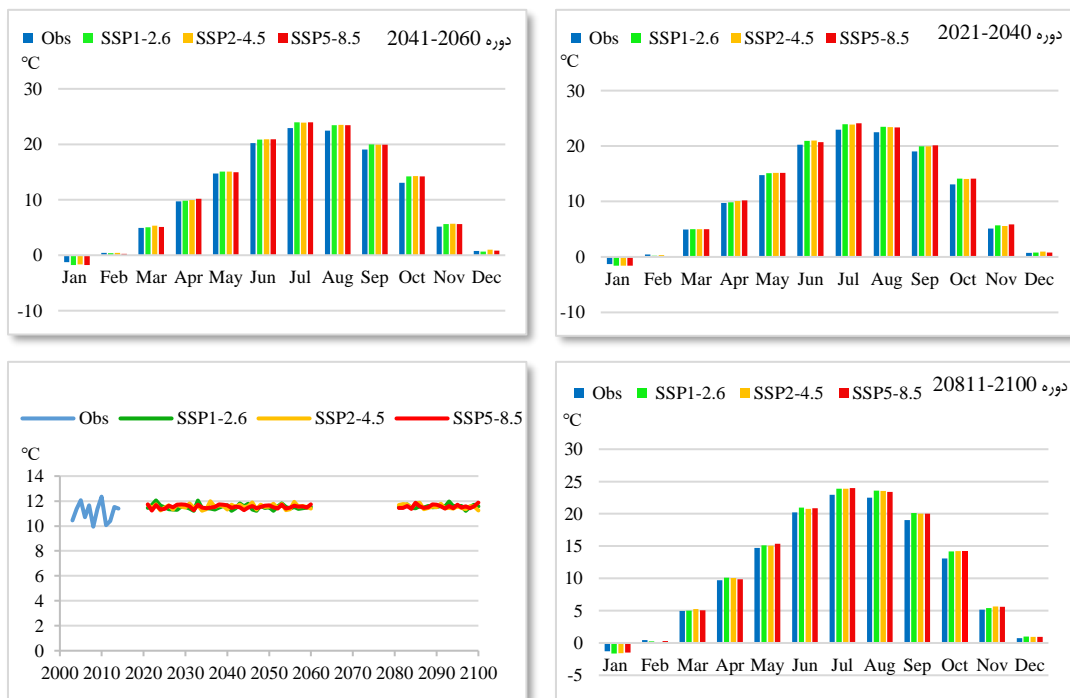


شکل ۸- مقایسه میانگین مقادیر ماکزیمم ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دما در ایستگاه زیدشت

Figure 8- Comparison of average monthly maximum simulated and observed temperature values at Zidasht station



شکل ۹- مقایسه میانگین مقادیر مینیمم ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دما در ایستگاه زیدشت
 Figure 9- Comparison of average monthly minimum simulated and observed temperature values at Zidasht station



شکل ۱۰- مقایسه میانگین مقادیر ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دما در ایستگاه زیدشت
 Figure 10- Comparison of average monthly simulated and observed temperature values at Zidasht station

از آنجایی که آب برای وجود حیات و فرآیند کلی کره زمین حیاتی است و در برابر اثرات تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر است، نیاز به مطالعه بیشتر، آمادگی قوی و چارچوب‌بندی سیاست دارد؛ بنابراین درک تغییرپذیری مکانی و زمانی و پیش‌نگری بارش و دما برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی کاهش و سازگاری بلندمدت حیاتی است. بر این اساس توسعه ابزارهایی برای رسیدگی به تغییرات اقلیم آبی برای موفقیت سیاست اقلیم در زمینه توسعه پایدار بسیار مهم است. در حال حاضر، مطالعه کمی یا هیچ مطالعه شناخته‌شده‌ای در مورد ارزیابی تغییرات اقلیمی با استفاده از داده‌های CMIP6 تحت سناریوهای اقلیمی مسیرهای اقتصادی اجتماعی مشترک در حوضه طالقان وجود ندارد.

محدودیت‌های این پژوهش درباره مدل‌های گردش عمومی جو شامل درک ناقص بشر از سیستم اقلیمی، توانایی ناقص برای تبدیل دانش ما به معادلات دقیق ریاضی، قدرت محدود کامپیوترها، عدم توانایی مدل‌ها در بازتولید پدیده‌های مهم جوی و نمایش نادرست از ارتباطات پیچیده طبیعی است (Legates, 2002). همچنین منابع خطا در پژوهش حاضر، خطای مدل‌های اقلیمی در برآورد دما و بارش در این پژوهش نتیجه عواملی مانند کمبود داده‌های مشاهداتی به‌عنوان داده‌های ورودی مدل، شرطی بودن متغیر بارش و تفکیک‌پذیری زمانی و مکانی بالای مدل‌های اقلیمی است.

در این مطالعه از داده‌های شش ایستگاه حوضه طالقان و مدل CanESM5 برای تولید داده‌های بارش و داده‌های دما تا سال ۲۱۰۰ استفاده شد. نتایج پیش‌نگری میانگین‌های ماهانه بارش، T_{max} ، T_{min} و T_{mean} تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نشان می‌دهد که بارش در برخی ماه‌ها روند کاهشی و برخی روند افزایشی دارد، تحقیقات Hassani و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مدل‌های اقلیمی نیز این موضوع را

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌نگری میانگین درجه حرارت ماهانه در ایستگاه زیدشت، میانگین درجه حرارت ماهانه طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ در ماه‌های ژانویه و فوریه تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 روند کاهشی داشته و بقیه ماه‌ها روند افزایشی دما را نشان می‌دهند. بیش‌ترین افزایش در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ طی ماه‌های اکتبر و جولای، سپتامبر و آگوست تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نسبت به دوره پایه است. نتایج پیش‌نگری در شکل (۱۰) ارائه شده است. نتایج بیش‌ترین افزایش میانگین درجه حرارت را طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و تحت سناریو SSP2-4.5 و طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تحت سناریوی SSP5-8.5 نمایش می‌دهند. همچنین بیش‌ترین افزایش میانگین درجه حرارت طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ تحت سناریوی SSP5-8.5 پیش‌نگری شده است.

بحث

تغییرات اقلیمی احتمالاً نگران‌کننده‌ترین نگرانی جهانی قرن بیست و یکم است، به‌ویژه به دلیل افزایش فراوانی وقایع حدی آب و هوایی، مانند موج‌های گرما، خشک‌سالی و سیل. امواج گرما به‌عنوان یک خطر بالقوه برای سلامتی در نظر گرفته می‌شود. این موضوع با مدیریت ناکافی منابع زیست‌محیطی و توانایی محدود برای انطباق در کشورهای در حال توسعه تشدید شده است (IPCC, 2014; Croitoru & Piticar, 2016). تغییرات اقلیمی ممکن است باعث تغییرات عمده در شرایط هیدرولوژیکی مانند افزایش سطح دریا، تغییر الگوی بارش، تغییر در مشخصه جریان رودخانه، تغذیه و در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی، تغییر در ترکیب پوشش گیاهی، تغییرات در فرآیند تبخیر - تعرق شود. به‌طور کلی

تائید می‌کند. بارش در ماه‌های مارس و می (فروردین و اردیبهشت) بیشترین افزایش و در ماه‌های اکتبر و سپتامبر (شهریور و مهر) بیشترین کاهش را نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد در ماه‌های ژانویه و فوریه (بهمن و اسفند) روند کاهش داشته و در بقیه ماه‌ها روند افزایشی را نشان می‌دهد. بیشترین افزایش دما در ماه‌های اکتبر و سپتامبر مشاهده می‌شود؛ که با نتایج Zarrin و همکاران (۲۰۲۱) که به بررسی دما با مدل‌های BCC-CSM2-MR، CAMS-M1-0 و MRI-ESM2-0 تحت سناریوهای SSP پرداخته‌اند مطابقت دارد.

به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که متغیرهای بارش و دما طی دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 روند افزایشی را نسبت به دوره پایه تجربه خواهند کرد، بیشترین افزایش دما و بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و به ترتیب تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP1-2.6 است. یافته‌های پژوهش حاضر در پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با نتایج Singh و همکاران (۲۰۱۵)، Kamruzzaman و همکاران (۲۰۲۳) و Roshani و Hamidi (۲۰۲۲) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان می‌دهد که طالقان در آینده در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر است. افزایش دما باعث ذوب برف و کاهش ذخیره برفی می‌شود. زمان پایداری ذخایر آب در حوضه کاهش خواهد یافت. تغییرات بارش در منطقه باعث تغییر الگوی بارش از برف به باران است؛ که این امر باعث کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و می‌تواند بر عملکرد محصول تأثیر بگذارد. همچنین افزایش بارش باعث سیل، طغیان رودخانه‌ها و افزایش آورد رسوب به مخزن سد طالقان می‌شود؛ و کاهش کیفیت آب شیرین در حوضه را در پی خواهد داشت.

افزایش بارش و درجه حرارت می‌تواند باعث بروز بلایای طبیعی غیرمنتظره مانند سیل‌های ناگهانی در بخش‌هایی از منطقه شود؛ بنابراین، انتظار می‌رود چالش‌های مدیریت پایدار رخ دهد. این امر مستلزم اتخاذ سیاست‌های برای حمایت از اقدامات آب و هوایی برای مبارزه با خطرات مرتبط با اقلیم در منطقه است؛ بنابراین، تلاش‌ها برای کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی باید افزایش یابد که منجر به افزایش تعاملات از جمله ارتباطات بین آب، سلامت انسان، انرژی، تنوع زیستی و کاربری اراضی می‌شود. رویکردهای اصلاحی مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، استفاده از کشت‌های جایگزین که نیاز به آب کمتری دارند، کاهش حجم پسماند از طریق مصرف بهینه و بازیافت و... می‌تواند به شکل دستیابی به اهداف اجتماعی مانند اهداف مرتبط با امنیت غذایی، سلامت انسان، دسترسی به انرژی، معیشت، کیفیت زیست‌محیطی و توسعه پایدار باشد.

از راهکارهای جلوگیری از تغییرات اقلیمی کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است که می‌تواند تا حد زیادی پیامدهای تغییر اقلیم را کاهش دهد. کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر به عبارتی تغییر منابع اصلی انرژی به انرژی پاک و تجدیدپذیر بهترین راه برای توقف استفاده از سوخت‌های فسیلی است. این‌ها شامل فناوری‌هایی مانند انرژی خورشیدی، باد، موج، جزر و مد و انرژی زمین گرمایی است. جنگل‌کاری و احیای جنگل‌ها در مبارزه با تغییرات اقلیمی حیاتی است و حفاظت از آن‌ها یکراه حل مهم است. قطع کردن جنگل‌ها، درختانی را که می‌توانند مقادیر زیادی کربن را جذب کنند، از بین می‌برد. اثرات تغییر اقلیم در فاصله زمانی کوتاه از بین نمی‌رود، بنابراین راهکار دیگر سازگاری با این پدیده است. یکی از مهم‌ترین راه‌های سازگاری رشد اقتصادی در تمام جهات است که باید مورد توجه قرار گیرد. مثلاً فقط

اجرا الگوی کشت جامع بهینه توسط سازمان‌های و توسعه زیرساخت‌ها اشاره کرد.

اقتصاد مبتنی بر کشاورزی مدنظر قرار نگیرد. به طور مثال می‌توان به سرمایه‌گذاری در صنعت گردشگری، تدوین و

References

- Chai, T. and Draxler, R.R., 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), pp.1247-1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Cheng, T.F., Lu, M. and Dai, L., 2019. The zonal oscillation and the driving mechanisms of the extreme western North Pacific subtropical high and its impacts on East Asian summer precipitation. *Journal of Climate*, 32(10), 3025-3050. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0076.1>
- Croitoru, A.E., Piticar, A. and Burada, D.C., 2016. Changes in precipitation extremes in Romania. *Quaternary International*, 415, 325-335. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.028>
- Dao, P.U., Heuzard, A.G., Le, T.X.H., Zhao, J., Yin, R., Shang, C. and Fan, C., 2023. The impacts of climate change on groundwater quality: A review. *Science of The Total Environment*, p.169241. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169241>
- Drobinski, P., Silva, N.D., Panthou, G., Bastin, S., Muller, C., Ahrens, B., Borga, M., Conte, D., Fosser, G., Giorgi, F. and Güttler, I., 2018. Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios. *Climate dynamics*, 51, pp.1237-1257. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3083-x>
- Duan, R., Huang, G., Li, Y., Zhou, X., Ren, J. and Tian, C., 2021. Stepwise clustering future meteorological drought projection and multi-level factorial analysis under climate change: A case study of the Pearl River Basin, China. *Environmental Research*, 196, 110368. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110368>
- Ershadfath, F., Raeini Sarjaz, M., Shahnazari, A., Eivind Olesen, J., 2022. Application of Linear Scaling Post-Processing Method for Bias Correction of Climate Models Retrieved from CMIP6. *Iran-Water Resources Research*, 18(3), 131-144. <https://doi.org/20.1001.1.17352347.1401.18.3.9.1> (in Persian)
- Feng, J. and Hu, D., 2014. How much does heat content of the western tropical Pacific Ocean modulate the South China Sea summer monsoon onset in the last four decades?. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(7), 4029-4044. <https://doi.org/10.1002/2013JC009683>
- Funk, C., Shukla, S., Thiaw, W.M., Rowland, J., Hoell, A., McNally, A., Husak, G., Novella, N., Budde, M., Peters-Lidard, C., Adoum, A., 2019. Recognizing the famine early warning systems network: over 30 years of drought early warning science advances and partnerships promoting global food security. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(6), 1011-1027. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0233.1>
- Goodarzi, M.R., Abedi, M.J., Pour, M.H., 2022. Climate change and trend analysis of precipitation and temperature: A case study of Gilan, Iran. In *Current Directions in Water Scarcity Research* 7, 561-587. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91910-4.00032-7>
- Goodarzi, M.R., Fatehifar, A., Moradi, A., 2020. Predicting future flood frequency under climate change using Copula function. *Water and Environment Journal*, 34, 710-727. <https://doi.org/10.1111/wej.12572>
- Guptha, G.C., Swain, S., Al-Ansari, N., Taloor, A.K. and Dayal, D., 2021. Evaluation of an urban drainage system and its resilience using remote sensing and GIS. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100601. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100601>
- Guptha, G.C., Swain, S., Al-Ansari, N., Taloor, A.K. and Dayal, D., 2022. Assessing the role of SuDS in resilience enhancement of urban

- drainage system: A case study of Gurugram City, India. *Urban Climate*, 41, p.101075. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101075>
- Hanafi, 2023. Climate change and water crisis in West Asia. *Amad and Defense Technology Quarterly*, 6(3), pp.153-178. (in Persian)
- Hassani, M.R., Niksokhan, M.H., Ardestani, M., Mousavi Janbehsarayi, S.F., 2023. Evaluating the effects of climate change on urban runoff based on CMIP6 models (case study: district 10 of Tehran municipality). *Water and Soil Management and Modeling* 3(2), 269-285. <https://doi.org/10.22098/MMWS.2022.11849.1176> (in Persian)
- IPCC, C.C., 2014. IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Summary for Policymakers-an Assessment of Inter-Governmental Panel on Climate Change.
- Iranshahi, M., Ebrahimi, B., Yousefi, H., Moridi, A., 2022. Investigating the Effects of Climate Change on Temperature and Precipitation Using Neural Network and CMIP6 (Case Study: Aleshtar and Khorramabad Stations). *Journal of Water and Irrigation Management*, 12 (4), 821-845. <https://doi.org/10.22059/JWIM.2022.346796.1009> (in Persian)
- Kamruzzaman, M., Wahid, S., Shahid, S., Alam, E., Mainuddin, M., Islam, H.T., Cho, J., Rahman, M.M., Biswas, J.C. and Thorp, K.R., 2023. Predicted changes in future precipitation and air temperature across Bangladesh using CMIP6 GCMs. *Heliyon*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16274>
- Karamouz, M., Nazif, S., Zahmatkesh, Z., 2013. Self-organizing Gaussian-based downscaling of climate data for simulation of urban drainage systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(2), 98-112. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000500](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000500)
- Kodinariya, T.M. and Makwana, P.R., 2013. Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. *International Journal*, 1(6), 90-95.
- Legates, D.R., 2002. Limitations of climate models as predictors of climate change. *Brief analysis*, 396.
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q., Wang, J., 2021. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1), 1280. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>
- Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L., Lamarque, J.F., Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C., Riahi, K. and Thomson, A.G.J.M.V., 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109, pp.213-241. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- Mo, C., Tang, P., Huang, K., Lei, X., Lai, S., Deng, J., Bao, M., Sun, G., Xing, Z., 2023. Evolution of Drought Trends under Climate Change Scenarios in Karst Basin. *Water*, 15(10), 1934. <https://doi.org/10.3390/w15101934>
- Modaresi, F., Araghinejad, S., Ebrahimi, K. and Kholghy, M., 2012. Assessment of climate change effects on the annual water yield of rivers: A case study of Gorganroud river, Iran. *Water and Soil*, 25(6). <https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.12152> (in Persian)
- Nandi, S. and Swain, S., 2023. Analysis of heatwave characteristics under climate change over three highly populated cities of South India: a CMIP6-based assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22398-x>
- Niroumand fard, F., Khashei Sivaki, A., Hashemi, R., Ghorbani, Kh., 2022. Investigation of Climate Change Projection on Temperature and Precipitation Parameters Using CMIP6 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'Neill, B.C., Krieglner, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R. and Van Vuuren, D.P., 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122, pp.387-400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- O'Neill, B.C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Krieglner, E., Lamarque, J.F., Lowe,

- J. and Meehl, G.A., 2016. The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), pp.3461-3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Patel, P., Thakur, P.K., Aggarwal, S.P., Garg, V., Dhote, P.R., Nikam, B.R., Swain, S. and Al-Ansari, N., 2022. Revisiting 2013 Uttarakhand flash floods through hydrological evaluation of precipitation data sources and morphometric prioritization. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 646-666. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2038696>
- Pervez, M.S. and Henebry, G.M., 2014. Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation—Downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology*, 517, 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.016>
- Ramezanipour, M., 2018. Forecasting climate Oscillations for three decades; Case study: Mazandaran province. *Physical Geography Quarterly*, (۳۹) ۱۱, pp.115-130. (in Persian)
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenoder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M., 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, pp.153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Roshani, A., Hamidi, M., 2022. Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature and precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station). *Journal of Water and Irrigation Management* 11(4), 781-795. <https://doi.org/10.22052/j.wim.2022.330603.920> (in Persian)
- Rummukainen, M., 2010. State-of-the-art with regional climate models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 82-96. <https://doi.org/10.1002/wcc.8>
- Sahoo, S., Majumder, A., Swain, S., Gareema, Pateriya, B. and Al-Ansari, N., 2022. Analysis of decadal land use changes and its impacts on urban heat island (UHI) using remote sensing-based approach: a smart city perspective. *Sustainability*, 14(19), 11892. <https://doi.org/10.3390/su141911892>
- Sarabi, M., Dastourani, M., Zarin, A., 2021. Investigating the impact of future climate changes on precipitation (Case study: Mashhad Dam Targ watershed). *The 8th National Conference on Water Resources Management of Iran*. (in Persian)
- Sayad, Vahidah., 2023. Analysis of studies on the effect of climate change in the future of the world and strategies to reduce its harmful effects. *Amad and Defense Technology Quarterly*, 6(3), pp.127-152. (in Persian)
- Shoja, F., Shamsipour, A., 2023. Projection of future Precipitation changes in Tehran's water supply watersheds. *Journal of Natural Environmental Hazards* 12(36), 151-180. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.42622.1908> (in Persian)
- Singh, D., Gupta, R.D., Jain, S.K., 2015. Assessment of impact of climate change on water resources in a hilly river basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 10625-10646. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-1985-2>
- Song, Z., Xia, J., She, D., Li, L., Hu, C., Hong, S., 2021. Assessment of meteorological drought change in the 21st century based on CMIP6 multi-model ensemble projections over mainland China. *Journal of Hydrology*, 601, 126643. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126643>
- Swart, N.C., Cole, J.N., Kharin, V.V., Lazare, M., Scinocca, J.F., Gillett, N.P., Anstey, J., Arora, V., Christian, J.R., Hanna, S. and Jiao, Y., 2019. The Canadian earth system model version 5 (CanESM5. 0.3). *Geoscientific Model Development*, 12(11), 4823-4873. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4823-2019>

- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American meteorological Society*, 93(4), 485-498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., Zeng, Z., Lian, Y. and Bai, X., 2018. Climate change enhances the severity and variability of drought in the Pearl River Basin in South China in the 21st century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.077>
- Wilby, R.L. and Dawson, C.W., 2013. The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), pp.1707-1719. <https://doi.org/10.1002/joc.3544>
- Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M., 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), pp.145-157. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00060-3)
- Zarrin, A., Dadashi-Rodbari, A., Salehabadi, N., 2021. Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics*, 15(1), 35-54. <https://doi.org/10.30499/IJG.2020.249997.1292> (in Persian)

Evaluation of Interpolation Methods in Estimating the Groundwater Level (Case Study: Razavi Khorasan Plains)

Gholamhossein Akbari^{1*}, Reza Barati², Iman Lotfi¹, Milad Seifi¹

1- Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Bojnord University, Bojnord, Iran

2- Department of Water Engineering, Research Assistant, Razavi Khorasan Regional Water, Mashhad, Iran

* Corresponding author: akbari@ub.ac.ir

(Received: 16 February 2024

Revised: 01 April 2024

Accepted: 01 May 2024)

Extended Abstract

Introduction: In many geographical and scientific phenomena such as hydrology and meteorology, where sampling is costly, observations are often sparse and pointwise. Selecting an appropriate interpolation method is crucial for water resource management, as it significantly impacts accuracy and cost reduction. Interpolation, utilized across various sciences, primarily aims to predict unknown values through a range of mathematical and statistical models. Ensuring the interpolation method and its correctness saves money and increases the accuracy of decision making. In general, a method that provides an optimal solution in all phenomena and locations is not found. Considering the environmental conditions of the region various methods should be assessed to determine the most optimal approach.

Materials and methods: The study area of Gonabad, with an area of 1805.6 km², of which 1048.7 km² are plains and the rest are highlands. In this research, the main goal is to evaluate the common methods of interpolation in the plains of Razavi Khorasan province. The plains of Gonabad and Sarakhs were studied due to their different hydrological and hydrogeological conditions; Also, in this review, inverse distance weighting (IDW) methods, kriging (simple, ordinary), cokriging, radial basis functions, and Thiessen's method were selected as interpolators for the study; and all these methods were evaluated by cross-validation.

Results and Discussion: In the present study, two methods of interpolation, IDW and Kriging, produced much more appropriate estimates than the rest of the studied methods. In comparing these two methods, IDW, as a classic method, requires fewer parameters and is simpler to implement. However, since it does not take into account the arrangement of data and the correlation between them, it is less accurate than kriging. On the other hand, geostatistical methods such as kriging, while offering better accuracy, require statistical tests, data transfer, data distribution, and spatial structure analysis due to hypotheses such as normality of data. This complexity and time-consuming nature can lead to errors. In this study, to assess the groundwater level under different conditions, information from two months of the year was utilized in each time period as representative of wet (February) and dry (August) periods. Contrary to previous ideas, due to the dry climate and low rainfall in the plains of the province, no significant difference was observed between these two months. Contrary to previous assumptions, the dry climate and low rainfall in the plains resulted in no significant difference between these two months.

Conclusion: Applying interpolation methods to two different time periods was conducted to investigate long-term decline. In the Gonabad Plain, the best methods were identified with RMSE values of 11.96, 14.02 and 14.49 meters for IDW, ordinary kriging and simple kriging, respectively Simple and ordinary kriging methods as well as IDW with RMSE values of 1.41, 1.58 and 11.83 m, respectively, were introduced in the Sarakhs Plain as the most optimal methods. In depicting the zoning of groundwater levels, as illustrated at the end of each plain by the aquifer map and changes in water level, it was found that height fluctuations corresponded to the information available in hydrogeological surveys of each region to a large extent. Analyzing the forecast results during the years 2012 to 2016, the decrease in groundwater level, based on the best and most optimal methods applied in the study plains of Gonabad and Sarakhs, amounted to a negligible four, seven, and five meters. In the province's plains, the Sarakhs Plain aquifer exhibited higher accuracy than others. This was attributed to the correct arrangement and density of sampling stations in this plain.

Keywords: Gonabad and Sarakhs plains, Groundwater, Thisen polygonalization, Validation.

Citation: Akbari, Gh. H., Barati, R., Lotfi, I., & Seifi, M. (2024). Evaluation of interpolation methods in estimating the groundwater level (Case Study: Razavi Khorasan Plains). *Integrated Watershed Management*, 4(3), 52-67. doi= 10.22034/iwm.2024.2023149.1138

Copyrights:

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



ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت‌های خراسان رضوی)

غلامحسین اکبری^{۱*}، رضا براتی^۲، ایمان لطفی^۱، میلاد سیفی^۱

۱- گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

۲- گروه مهندسی آب، معاونت پژوهشی، آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران

*نویسنده مسئول: akbari@ub.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷

چکیده مبسوط

مقدمه: در بیش‌تر پدیده‌های جغرافیایی و علمی نظیر هیدرولوژی و هواشناسی که نمونه‌گیری در آن بسیار هزینه‌بر است، مشاهدات به‌طور نقطه‌ای و با تراکم اندک انجام می‌پذیرد. انتخاب یک روش درون‌یابی مناسب برای مدیریت منابع آب مهم است زیرا بر دقت و کاهش هزینه تأثیر می‌گذارد. درون‌یابی که در علوم مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، در درجه اول با هدف پیش‌بینی مقادیر ناشناخته از طریق طیف وسیعی از مدل‌های ریاضی و آماری است. اطمینان از روش درون‌یابی و صحت آن باعث صرفه‌جویی در هزینه و افزایش دقت تصمیم‌گیری می‌شود. به‌طور کلی روشی که در همه پدیده‌ها و مکان‌ها راه حل بهینه ارائه کند یافت نمی‌شود. با توجه به شرایط محیطی منطقه باید روش‌های مختلفی برای تعیین بهینه‌ترین رویکرد ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها: محدوده مورد مطالعه گناباد به مساحت ۱۸۰۵/۶ کیلومترمربع که ۱۰۴۸/۷ کیلومترمربع آن دشت و بقیه ارتفاعات است. در پژوهش حاضر هدف اصلی، ارزیابی و مقایسه‌ی روش‌های رایج درون‌یابی در دشت‌هایی از استان خراسان رضوی می‌باشد. دشت‌های گناباد و سرخس به جهت شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژی متفاوت از یکدیگر مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین در این پژوهش، روش‌های وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)، کریجینگ (ساده، معمولی)، کریجینگ کمکی، توابع پایه شعاعی و روش تیسن به‌عنوان درون‌یابی برای مطالعه انتخاب شدند و تمامی این روش‌ها با اعتبارسنجی تقاطعی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث: در پژوهش حاضر، دو روش درون‌یابی IDW و کریجینگ، تخمین‌های به‌مراتب مناسب‌تری نسبت به بقیه روش‌های مورد مطالعه ارائه کردند. در مقایسه این دو روش، IDW به‌عنوان یک روش کلاسیک به علت این‌که پارامترهای کم‌تری نیاز دارد؛ کاملاً ساده‌تر قابل اجراست. با این حال، از آنجایی‌که ترتیب داده‌ها و همبستگی بین آن‌ها را در نظر نمی‌گیرد، از دقت کم‌تری در مقابل کریجینگ برخوردار است. از سوی دیگر، روش‌های زمین‌آماري همچون کریجینگ، ضمن ارائه دقت بهتر، به دلیل فرضیه‌هایی مانند نرمال بودن داده‌ها، نیازمند آزمون‌های آماری، انتقال داده‌ها، توزیع داده‌ها و تحلیل ساختار مکانی است که این خود باعث پیچیدگی و زمان‌بر شدن و ایجاد خطا گردید. در این مطالعه برای ارزیابی سطح آب زیرزمینی در شرایط مختلف، از اطلاعات دو ماه از سال در هر دوره زمانی به عنوان نماینده دوره‌های ترسالی (بهم‌ماه) و خشک‌سالی (مردادماه) استفاده شد. برخلاف تصور قبلی، به دلیل خشکی آب و هوا و کم بارندگی در دشت‌های استان، تفاوتی بین این دو ماه مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: اعمال روش‌های درون‌یابی بر روی دو دوره زمانی مختلف به جهت بررسی افت بلند مدت انجام پذیرفت که در دشت گناباد با مقدار RMSE ۱۱/۹۶ متر، برای IDW ۱۴/۰۲ و ۱۴/۴۹ متر برای کریجینگ ساده و معمولی، روش‌های برتر شناسایی شدند. در دشت سرخس روش‌های کریجینگ ساده و معمولی و همچنین وزن‌دهی معکوس فاصله با مقادیر RMSE ۱/۴۱، ۱/۵۸ و ۱۱/۸۳ متر بهینه‌ترین روش‌ها معرفی شدند. در نمایش پهنه‌بندی سطوح آب زیرزمینی که در انتهای هر دشت به‌وسیله نقشه آبخوان و تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی نشان داده شد؛ مشخص شد که نوسانات ارتفاعی با اطلاعات موجود در بررسی‌های هیدروژئولوژی هر محدوده تا حد زیادی مطابقت دارد. با تحلیل نتایج پیش‌بینی‌های انجام گرفته، در طی سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ افت تراز سطح آب زیرزمینی بر اساس بهترین و بهینه‌ترین روش‌های اعمال شده در دشت‌های مطالعاتی گناباد، سرخس مقداری ناچیز و قابل چشم‌پوشی در حدود ۰،۴ و ۵ متر است. در درون‌یابی دشت‌های استان، آبخوان دشت سرخس از دیگر محدوده مطالعاتی دقت بالاتری را از خود به نمایش گذاشت؛ علت این اتفاق چیدمان صحیح ایستگاه‌های نمونه‌برداری و چگالی مناسب نقاط در نمونه‌برداری از دشت مذکور بود.

واژه‌های کلیدی: دشت گناباد و سرخس، آب زیرزمینی، درون‌یابی تیسن، اعتبارسنجی.

استناد: اکبری، غ. ح.، براتی، ر.، لطفی، ا. و سیفی، م. (۱۴۰۳). ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت‌های خراسان رضوی). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۶۷-۵۲.

حق چاپ:



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

مقدمه

یکی از مسائل اساسی در مطالعه‌ی تحلیل پدیده‌های محیطی، بعد از مشاهده مقادیر برای نقاط نمونه، تخمین مقدار برای نقاط مجهول است که این کار با استفاده از روش‌های درون‌یابی مختلف قابل انجام خواهد بود (Adhikary and Jyotiprava, 2017; Arslan, 2014; Daliakopoulos *et al.*, 2005). درون‌یابی در علوم مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کاربرد اصلی آن پیش‌بینی مقادیر مجهول به کمک مجموعه‌ای از مدل‌های متنوع ریاضی و آماری است (AliJani *et al.*, 2022; Bhattacharjee *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2010). اطمینان از روش درون‌یابی و صحت انجام آن باعث صرفه‌جویی در هزینه و افزایش دقت تصمیم‌گیری می‌گردد. به‌طور کلی روشی که در تمامی پدیده‌ها و محل‌ها جواب بهینه‌ای ارائه دهد یافت نمی‌شود (Samadi, 2017; Eldrandaly and AbuZaid, 2011; Gong *et al.*, 2014; Kalhor *et al.*, 2013; Kaminska and Grzywna, 2014; Li and Heap, 2014; Ma *et al.*, 2012)؛ و باید با توجه به شرایط محیطی منطقه، روش‌های مختلف را بررسی نموده و به بهینه‌ترین پاسخ دست یافت (Bhunia *et al.*, 2018; Piazza *et al.*, 2011; Jie *et al.*, 2013; Ohmer *et al.*, 2017; Shahid *et al.*, 2017). امروزه با گسترش و توسعه‌ی ابزارهای محاسباتی، روش‌های درون‌یابی متنوعی ارائه گردید که این تنوع و گستردگی روش، کار را برای انتخاب روش مناسب در پدیده‌های گوناگون دشوارتر از قبل می‌کند (Elumalai *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2017). تحقیقات فراوانی جهت استفاده از روش‌های درون‌یابی بر اساس نوع پدیده، مقیاس، تراکم نقاط و... ارائه شده است (Khodadadi *et al.*, 2022; Xiao *et al.*, 2016). اما همچنان ساختار کلی در این رابطه وجود ندارد و عموماً درستی روش‌های مختلف به‌صورت موردی برای یک منطقه خاص برآورده می‌شود (Bronowicka *et al.*, 2019). از این‌رو در پژوهشی در آبخوان قره‌سو در استان گلستان تلاش شده تا با بررسی و ارزیابی روش‌های رایج

درون‌یابی در تخمین تراز سطح آب‌های زیرزمینی، عوامل مؤثر بر انتخاب و اجرای هر کدام از روش‌ها شناسایی و بررسی گردد (Ghorbani and Salarijezi, 2018). در مطالعاتی بر روی طرح آبیاری در دشت شبستر صوفیان به‌منظور تعیین این‌که کدام‌یک از مدل‌های نیمه‌کاره تجربی به بهترین وجه با مقادیر مشاهداتی مطابقت دارد، مدل سمی واریوگرام تجربی درجه دوم را بهترین مدل برای منطقه آبیاری مورد مطالعه قلمداد کردند (Ebadi and Rezaei, 2019). در پژوهشی دیگر در منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران با بررسی سطح آب موجود در آبخوان تعداد محدودی از سایت‌ها به بررسی روش درون‌یابی کریجینگ پرداختند. در این پژوهش کارایی سیستم استنباط فازی مبتنی بر شبکه کریجینگ معمولی و سازگار با شبکه ANFIS در درون‌یابی سطح آب‌های زیرزمینی در یک سفره‌ی آب شیرین نشده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل ANFIS در تخمین سطح آب‌های زیرزمینی کارایی نسبتاً خوبی دارد (Habibabadi and Derakhshan, 2023). در پژوهشی در حوزه بنگال با تجزیه و تحلیل نتایج مقادیر متفاوتی برای کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله به دست آوردند که در مناطقی که آب زیرزمینی به‌عنوان منبع آشامیدنی نامناسب بود برای کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله به ترتیب ۴۱۹ و ۱۱۶ کیلومتر مربع بود. سه منطقه بسیار آلوده در محل مذکور به‌وسیله کریجینگ معمولی تعیین شدند و به‌طور کلی کیفیت آب زیرزمینی ضعیف شناخته شد (Ghosh *et al.*, 2019). یکی از کاربردهای درون‌یابی تهیه نقشه و به تصویر کشیدن شرایط آب‌های زیرزمینی است؛ که در پژوهشی در آبخوان شیروان در خراسان شمالی برای به تصویر کشیدن و نمونه‌برداری از وضعیت کیفی آب شروع به تحقیق کردند. آن‌ها برای بررسی کیفیت آب اقدام به جمع‌آوری داده‌ها و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی از قبیل میزان اسیدی و بازی بودن، کدورت، سختی،

وسیع‌تری از این محدوده را در بر می‌گیرد. ارتفاعات محدوده مورد مطالعه در بخش غربی و جنوبی منطقه قرار داشته و دشت سرخس که آبخوان آبرفتی را در خود جای می‌دهد در بخش شرقی و حاشیه رودخانه‌ی هریرود قرار دارد. در این پژوهش از اطلاعات ۳۰ حلقه چاه پیزومتری موجود در سفره‌ی آبخوان دشت گناباد و ۴۲ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در دشت سرخس در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ استفاده گردید. اطلاعات هر دو سال به دلیل بررسی سطح تراز آب در ترسالی و خشک‌سالی به دو ماه مرداد و بهمن محدود گردید.

دشت گناباد و سرخس دارای نوسانات بسیار اندکی در سطح آب‌های زیرزمینی میان ماه‌های مرداد و بهمن است. همچنین مقدار داده‌های بهمن و مردادماه در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ حاکی از تغییرات ناگهانی تراز آب زیرزمینی همچون برداشت‌های بی‌رویه آب است (Regional water organization Razavi Khorasan, 2017). همچنین داده‌ها با توجه به زمان‌بر شدن و ایجاد خطا نرمال نمی‌باشند.

روش تحقیق

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی و مقایسه‌ی روش‌های رایج درون‌یابی (وزن‌دهی معکوس، کریجینگ) در دشت‌هایی از استان خراسان رضوی است. در پژوهش حاضر برای پیاده‌سازی روش‌های وزن‌دهی معکوس فاصله، کریجینگ (ساده و معمولی)، کریجینگ کمکی، توابع پایه‌شعاعی و تیسن نیز از ArcGIS استفاده گردید. برای ارزیابی عملکرد روش‌ها از شاخص همبستگی، میانگین خطای مطلق و خطای میانگین مربعات استفاده شده است.

روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)

روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW¹)، یکی از ساده‌ترین روش‌های درون‌یابی است. این روش یک ترکیب خطی از داده‌های موجود را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم پیشنهاد می‌کند. در این روش فقط فاصله‌ها اهمیت دارد و از موقعیت و آرایش نقاط

مقدار کلسیم و کلریدهای موجود در آب نمودند. سپس برای درون‌یابی، از روش‌های قطعی همچون وزن‌دهی معکوس فاصله و توابع پایه‌شعاعی و روش‌های زمین‌آماری مثل کریجینگ معمولی بهره جستند (Gholizadeh Sarabi et al., 2022).

هدف اصلی این پژوهش نیز، ارائه یک چارچوب مناسب به‌منظور انتخاب روش بهتر درون‌یابی مکانی جهت تعیین تراز آب‌های زیرزمینی البته متناسب با شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه مطالعاتی گناباد و سرخس است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی این پژوهش شامل دوآبخوان گناباد و سرخس در دشت‌های استان خراسان رضوی می‌باشد. محدوده مطالعاتی گناباد با وسعت ۱۸۰۵/۶ کیلومترمربع، در جنوب شهرستان تربت‌حیدریه قرار دارد و به لحاظ جغرافیایی نیز در محدوده ۵۸° ۱۹' تا ۵۹° ۰۱' طول شرقی و ۳۴° ۰۳' تا ۳۴° ۲۲' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). آبخوان آبرفتی با مساحت تقریبی ۶۸۷ کیلومترمربع بخش وسیعی از این محدوده را در بر می‌گیرد. محدوده مطالعاتی دشت گناباد شکل نسبتاً بیضوی داشته و تمامی بخش جنوبی، شرقی و غربی آن را ارتفاعات احاطه کرده و نقاط کم ارتفاع و پست در بخش شمالی که خروجی دشت نیز است قرار دارند. محدوده مطالعاتی سرخس نیز دارای وسعت ۱۹۲۶ کیلومترمربع است که ۱۷۵۳ کیلومترمربع آن را دشت و الباقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این منطقه مطالعاتی در ۱۸۰ کیلومتری شهر مشهد و شمال‌شرق ایران در مجاورت مرز ترکمنستان قرار دارد. همچنین به لحاظ مختصات جغرافیایی نیز در مختصات ۴۲° ۶۰' تا ۶۱° ۱۴' طول شرقی و ۵۰° ۳۵' تا ۳۶° ۳۷' عرض شمالی واقع شده است. آبخوان آبرفتی با مساحت تقریبی ۵۹۳/۴ کیلومترمربع بخش

¹ Inverse Distance Weighting

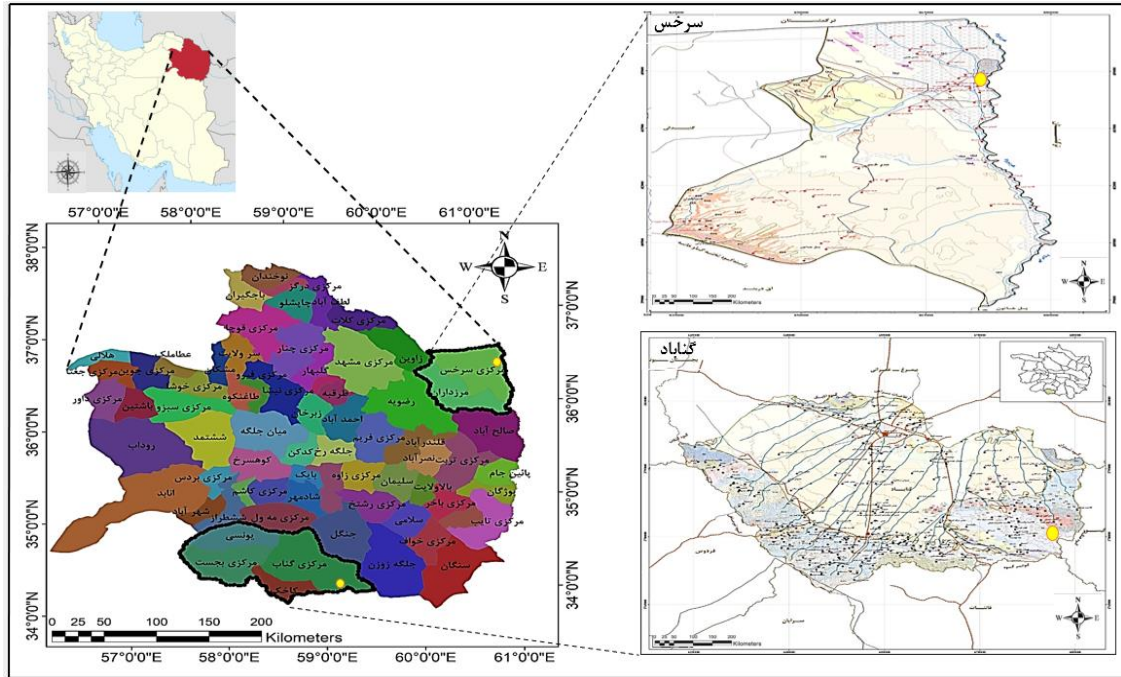
اکبری و همکاران

صرف نظر می‌شود. از رابطه شماره (۱) نیز محاسبه می‌شود.

$$z(x) = \sum_{i=1}^n w_i z_i / \sum_{i=1}^n w_i = \frac{w_1}{\sum_{i=1}^n w_i} z_1 + \dots + \frac{w_n}{\sum_{i=1}^n w_i} z_n$$

که Z_i مقدار مشاهداتی و W_i وزن مقادیر است.

(۱)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت‌های سرخس و گناباد در استان خراسان رضوی

Figure 1- Geographical locations of Sarakhs and Gonabad Plains in Razavi Khorasan province

✓ امکان ارائه‌ی آنالیزهای فیزیکی در خصوص

پارامترهای آن وجود دارد (Piazza et al., 2011).

روش تیسن

در روش تیسن^۲ و مراحل ایجاد پلیگون‌بندی تیسن اگر نقاط نمونه‌برداری شده بر روی یک شبکه‌ی منظم باشند، پلیگون‌های منظم و اگر این نقاط نامنظم باشند، پلیگون‌های نامنظم به وجود خواهند آمد؛ بنابراین نوع ساختار فضایی پلیگون‌های تیسن به پراکندگی نقاط نمونه وابسته است.

(۳)

$$H_{\text{total}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^k \text{Thiessen Area} * \text{Thiessen Value})}{\text{Area}_{\text{total}}}$$

در رابطه شماره (۳)، H_{total} هیدروگراف واحد آب برای پلیگون تیسن، Thiessen Area بیانگر مساحت هر

تابع پایه شعاعی (RBF)

تابع پایه شعاعی (RBF) یکی از روش‌های درون‌یابی رسا است که در آن سطح برازش داده شده از تمامی نقاط عبور می‌کند. تفاوت این روش با وزن‌دهی معکوس فاصله این است که IDW عددی خارج از محدوده‌ی داده‌ها را انتخاب نمی‌کند.

$$z = w_1 \varphi_1 + w_2 \varphi_2 + w_3 \varphi_3 + \dots \quad (۲)$$

در فرمول شماره (۲)، W_i وزن مقادیر و Q_i مقدار مشاهداتی است. مزایای روش RBF به شرح زیر است:

✓ تخمین پارامترهای موجود در آن نسبتاً ساده است.

✓ از قابلیت تقریب فراگیر انواع مختلف توابع برخوردار است.

2 Thiessen

1 Root Basis Function

✓ میزان خطای تخمین با واریانس تابع مشخصات واریوگرام (ساختار فضایی) کمینه می‌گردد (Gong et al., 2014).

روش کریجینگ ساده و معمولی

در روش کریجینگ ساده بیشتر مواقع با پدیده‌های طبیعی هم‌خوانی ندارد. همچنین از نظر ریاضی ساده‌تر از روش کریجینگ معمولی است اما جامعیت و کاربرد چندانی ندارد. در روش کریجینگ معمولی نیز، در واقع همان رگرسیون است که توسط مختصات مکانی به عنوان متغیر تشریحی انجام می‌گیرد. با توجه به مفهوم این روش، هرگاه روندی در داده‌ها وجود داشت باید از کریجینگ معمولی بهره جست. لذا فرمول آن از رابطه شماره (۵) محاسبه می‌شود.

$$m(X) = \sum_{k=1}^n a_k p_k(X) \quad (5)$$

در رابطه‌ی شماره (۵)، X برداری دو بعدی $(\frac{x}{y})$ ، a_k روند محلی و $p_k(X)$ مختصات جغرافیایی مکان می‌باشد.

روش کریجینگ کمکی

کریجینگ کمکی^۴ همانند روش‌های چند متغیره است که برآورد را بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف انجام می‌دهد. لذا فرمول آن از رابطه شماره (۶) محاسبه می‌شود.

$$Z^*(x_i) = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji} * x_j \sum_{k=1}^n \lambda_k = \lambda_k * y(x_k) \quad (6)$$

در رابطه شماره (۶)، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده در نقطه‌ی x_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر Z و λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی و y مقدار مشاهده‌ای متغیر کمکی خواهد بود.

روش‌های اعتبارسنجی نتایج

روش مجذور میانگین مربعات خطا^۵

این معیار هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر خطای کمتر روش درون‌یابی است (رابطه ۷). دلیل استفاده از این روش این است که برای تعیین اندازه‌ی

پلیگون تیسسن در سطح مربوط به ماه i ام و Thiessen Value میزان ارزش (یا همان تراز آب) پلیگون تیسسن، $Area_{total}$ مساحت کل دشت و در نهایت K نیز تعداد کل پلیگون‌های تیسسن در سطح دشت است.

روش کریجینگ

این روش علاوه بر پیش‌بینی مقادیر برای نقاط مجهول، اطمینان و صحت مقادیر برآورده شده را نیز بررسی می‌کند چراکه از روابط آماری میان داده‌ها و خودهمبستگی بین نقاط استفاده می‌کند. کریجینگ^۳ فرض می‌کند تفاضل مقدار متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه از فضا به فاصله آن دو از هم‌بستگی دارد (نظریه متغیر ناحیه‌ای). این نظریه بیان می‌کند که تغییرات فضایی هر متغیر با جمع دو مؤلفه‌ی اصلی و یک مؤلفه‌ی خطا حاصل می‌گردد. لذا فرمول آن از رابطه شماره (۴) محاسبه گردید.

$$Z'_0 = \sum_{i=1}^n h_i Z(\alpha_i) \quad (4)$$

در معادله بالا h_i وزن، $Z(\alpha_i)$ مقادیر مربوط به همسایه‌ی تأثیرگذار در درون‌یابی و Z'_0 مقدار برآورد شده است.

از جمله مهم‌ترین و بارزترین ویژگی‌های روش کریجینگ به شرح زیر است:

✓ این روش ورودی‌های زیادی از کاربر می‌خواهد.

✓ در صورتی که تعداد داده‌ها زیاد باشد، محاسبات فراوان و زمان مدل‌سازی طولانی می‌شود.

✓ وزن علاوه بر فاصله‌ی بین نقاط، به ساختار فضایی نیز وابسته است.

✓ برای داده‌هایی که روندهای موضعی و وابستگی درونی دارند مناسب است.

✓ دقت آن وابسته به دقت واریوگرافی و تشخیص مدل تغییر نگاشت است.

✓ قابل انعطاف است یعنی به کاربر این امکان را می‌دهد تا نمودارهای همبستگی ذاتی را بررسی کند.

⁵ Root Mean Square Error (RMSE)

3 Kriging
4 Cokriging

اکبری و همکاران

خطاهای بزرگ استفاده می‌شود و همچنین معیار فوق به اندازه داده‌های پرت^۶ بسیار حساس است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \hat{Z}(x_i))^2} \quad (7)$$

در رابطه‌ی فوق $Z(x_i)$ مقدار مشاهداتی و $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد شده از درون‌یابی و N تعداد نقاط مورد مطالعه می‌باشد.

روش ضریب تعیین (R^2) بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی

این روش نسبتی از واریانس برحسب متغیر وابسته است. که میزان ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند. ضریب تعیین نشان می‌دهد که چه میزان از تغییرات متغیر وابسته تحت تاثیر متغیر مستقل بوده است. در این روش مقدار R^2 از رابطه شماره (۸) به دست می‌آید.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Z_i - \hat{Z}_i)^2}{\sum (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (8)$$

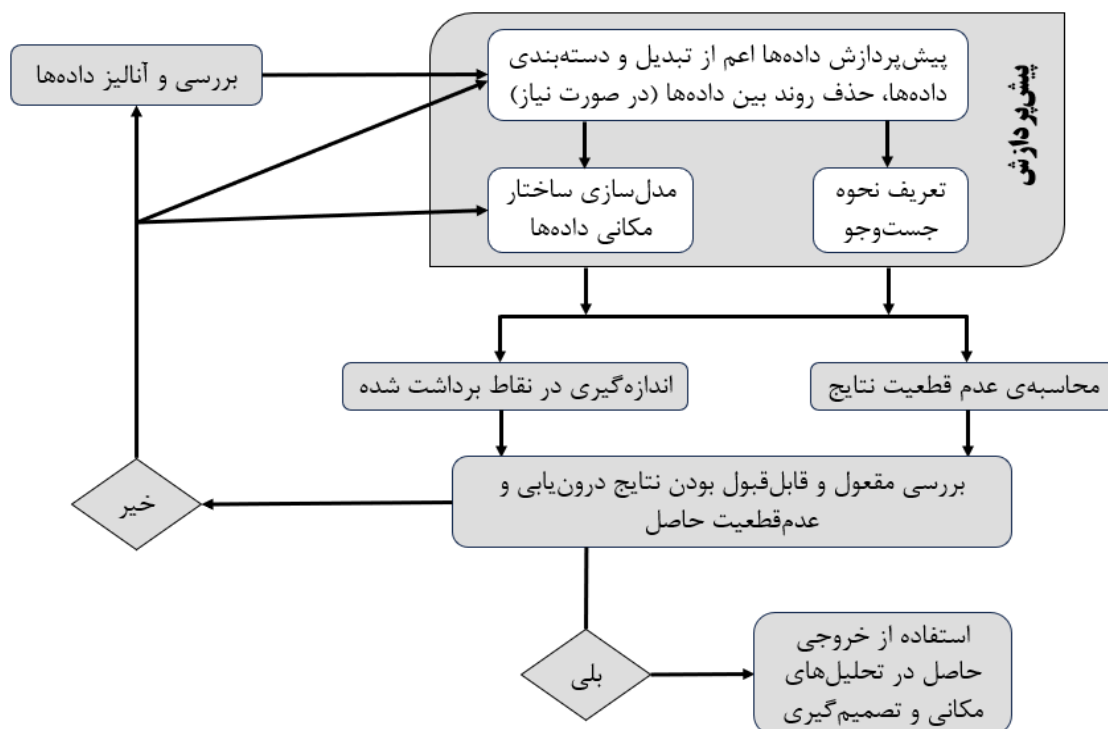
که در رابطه شماره (۸)، R^2 ضریب تعیین، \hat{Z}_i مقدار برآورد شده از درون‌یابی، Z_i مقدار مشاهداتی، \bar{Z} مقدار برآورد اولیه است.

روش میانگین انحراف خطاها^۷ (MBE)

این مقدار در واقع اختلاف بین میانگین مقدارهای مشاهده‌ای و برآورد شده است و نمایانگر انحراف از میانگین است. در صورتی که این مقدار مثبت باشد نشان‌دهنده‌ی برآورد بیش‌تر و در صورت منفی بودن بیانگر برآورد کم‌تر از میانگین داده‌هاست.

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)) \quad (9)$$

در رابطه‌ی شماره (۹)، $Z(x_i)$ مقدار مشاهداتی و $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد شده از درون‌یابی و N تعداد نقاط مورد مطالعه است. اگر معیار بالا برابر با صفر شود، یعنی مدل درون‌یابی انتخابی، متغیر مورد نظر ما را به‌طور کاملاً دقیق برآورد می‌کند. در شکل ۲ ساختار اجرای روش‌های درون‌یابی نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار اجرای روش‌های درون‌یابی

Figure 2. The implementation structure of interpolation methods

⁷ Mean Bias Error (MBE)

⁶ Outliers

نتایج

در این پژوهش از اطلاعات ۳۰ حلقه چاه پیژومتری در دشت گناباد و ۴۲ حلقه چاه در دشت سرخس در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ استفاده گردید. اطلاعات هر دو سال به دلیل بررسی سطح تراز آب در ترسالی و خشک‌سالی به دو ماه مرداد و بهمن محدود گردید. در اعمال روش‌های درونیابی، پارامترهای مؤثر بر هر روش می‌تواند روند نتایج را کاملاً دستخوش تغییر سازد؛ از این رو باید در هر کدام از روش‌های اعمال شده

پارامترهای بهینه را اعمال نمود تا بهترین پاسخ، حاصل شده و قضاوت درستی میان هریک از روش‌ها صورت پذیرد. لذا در محدوده مکانی گناباد با توجه به بررسی سطح تراز آب در ترسالی و خشک‌سالی به دو ماه بهمن و مرداد محدود گردید که با روش‌های گفته‌شده مقادیر جدول ۱، به دست آمد. در جدول ۲ و ۳، به جهت اطمینان از صحت انتخاب روش درونیابی مناسب، در دشت گناباد معیارهای اعتبارسنجی R^2 و MBE نیز به دست آمد.

جدول ۱ - مقادیر RMSE در دشت گناباد

Table 1 - RMSE values in Gonabad Plain

بازه زمانی	محدوده مکانی	
	بازه زمانی	روش
وزن‌دهی معکوس فاصله	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶
کرچینگ	بهرمن ۱۳۹۲	مرداد ۱۳۹۲
تیسن	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶
تابع پایه شعاعی	بهرمن ۱۳۹۲	مرداد ۱۳۹۲
کرچینگ کمکی	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶

جدول ۲ - مقادیر R^2 در دشت گناباد

Table 2 - R^2 values in Gonabad Plain

بازه زمانی	محدوده مکانی	
	بازه زمانی	روش
وزن‌دهی معکوس فاصله	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶
کرچینگ	بهرمن ۱۳۹۲	مرداد ۱۳۹۲
تیسن	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶
تابع پایه شعاعی	بهرمن ۱۳۹۲	مرداد ۱۳۹۲
کرچینگ کمکی	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶

جدول ۳ - مقادیر MBE در دشت گناباد

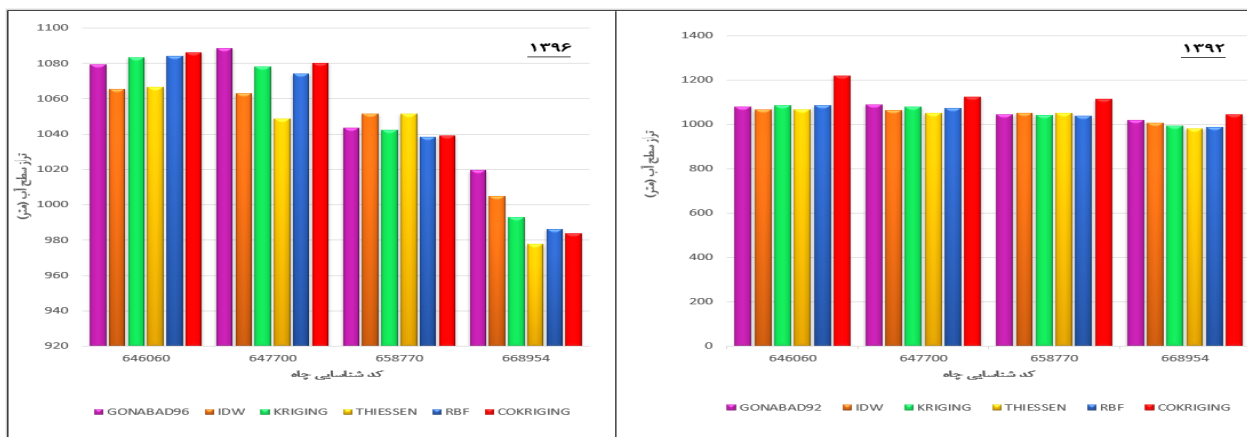
Table 3 - MBE values in Gonabad Plain

بازه زمانی	محدوده مکانی	
	بازه زمانی	روش
وزن‌دهی معکوس فاصله	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶
کرچینگ	بهرمن ۱۳۹۲	مرداد ۱۳۹۲
تیسن	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶
تابع پایه شعاعی	بهرمن ۱۳۹۲	مرداد ۱۳۹۲
کرچینگ کمکی	بهرمن ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶

اکبری و همکاران

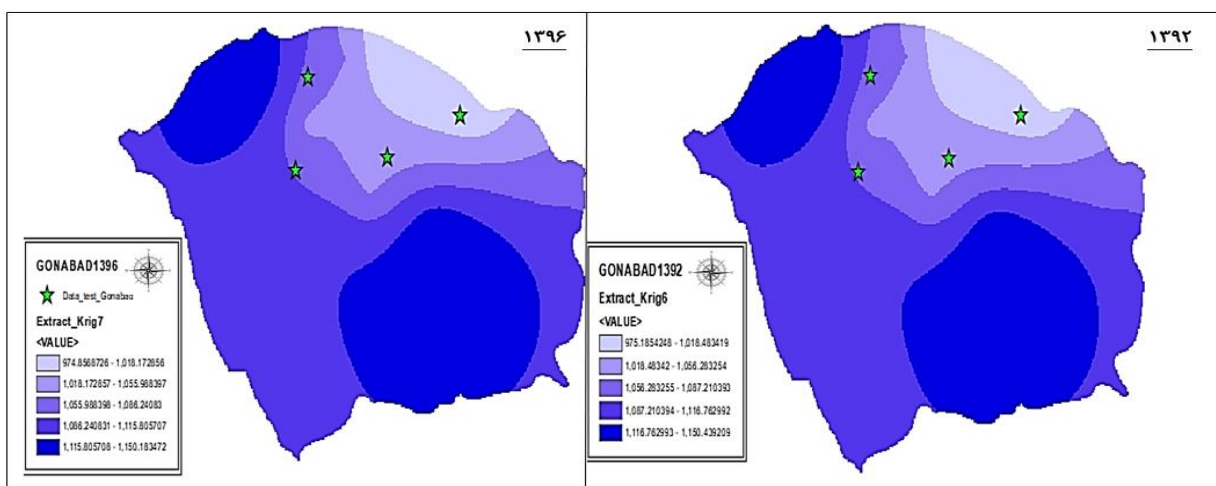
روش‌ها، کمک می‌نماید. در شکل ۳، کد شناسایی چاه مربوط به ماه مرداد و بهمن در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ در دشت گناباد بوده که کد شناسایی ۶۵۸۷۷۰ و ۶۴۶۰۶۰ مربوط به ماه مرداد و کد شناسایی ۶۴۶۰۶۰ و ۶۴۷۷۰۰ مربوط به ماه بهمن در مقایسه مقدار واقعی و تخمینی بوده که با توجه به روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس، کریجینگ، تیسن، تابع پایه شعاعی، کریجینگ کمکی با مقدار واقعی (رنگ بنفش) مقایسه گردید.

در نمودارهای میله‌ای شکل ۳ بررسی مقایسه‌ای بین روش‌های درون‌یابی و مقدارهای مشاهداتی از چاه‌های آزمایشی صورت گرفته است. این نمودارها دارای دو محور افقی و قائم می‌باشند؛ که مقادیر محور افقی کد شناسایی هر چاه آزمایشی را در محدوده موردنظر و محور قائم سطح تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. هرچند که به‌وسیله اعتبارسنجی اختلاف میان هر روش با مقدار واقعی مشخص می‌گردد؛ اما نمایش این اختلاف‌ها به‌وسیله نمودارهای میله‌ای به درک بهتر و ملموس‌تر از تفاوت میان



شکل ۳ - مقایسه مقدار مشاهداتی و تخمینی در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ دشت گناباد

Figure 3- Comparison of observed and estimated value in 2013 and 2017 in Gonabad Plain



شکل ۴ - سطح آب‌های زیرزمینی آبخیز گناباد در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶

Figure 4 - Groundwater level of Gonabad aquifer in 2013 and 2017

روش کریجینگ کمکی پیش‌بینی و تخمین مناسبی را به دست نمی‌دهد و طبق نمودارهای میله‌ای شکل ۳، در سال ۱۳۹۲ مقادیر برآورد شده توسط این روش در

مطابق شکل ۳، در سال ۱۳۹۲ تقریباً تمامی روش‌ها نزدیک به هم و با اختلاف اندکی عمل درون‌یابی را انجام داده‌اند. در بین پنج روش موجود در پژوهش،

معیار نتایج روش‌های درون‌یابی مختلف برابر با ۵/۳۰ متر شد؛ که این عدد حاکی از آن است انتخاب اشتباه در روش درون‌یابی به‌طور متوسط خطایی ۵/۳۰ متری را ایجاد می‌نماید بنابراین انتخاب روش صحیح درون‌یابی و پارامترهای مربوطه بسیار تأثیرگذار خواهد بود. شکل ۴، نیز سطح نهایی پهنه‌بندی شده برای آب‌های زیرزمینی در آبخوان گناباد را در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ نمایش می‌دهد که این پهنه‌بندی نیز بر اساس بهترین روش درون‌یابی مربوطه یعنی کریجینگ تصویر شده است. با بررسی این شکل نیز مشخص می‌گردد تراز سطح آب نسبت به دوره زمانی قبلی تغییرات قابل‌توجهی نداشته است. در محدوده مکانی سرخس نیز، با توجه به بررسی سطح تراز آب در ترسالی و خشک‌سالی به دو ماه بهمن و مرداد محدود گردید که با روش‌های گفته‌شده مقادیر جدول ۴، به دست آمد. در جدول ۵ و ۶، نیز به جهت اطمینان از صحت انتخاب روش درون‌یابی مناسب، در دشت سرخس معیارهای اعتبارسنجی R^2 و MBE نیز به دست آمد.

تمامی حالات بیش‌تر از مقدارهای مشاهده‌ای است. از مشاهده‌ی نمودارها و بررسی دقیق‌تر میزان تراز سطح آب در چاه‌های مورد آزمایش؛ باز هم می‌توان به این مهم پی برد که روش کریجینگ قرابت بیشتری با مقادیر واقعی دارد. در سال ۱۳۹۶ نیز، روش‌های کریجینگ و IDW نزدیک‌ترین تخمین‌ها را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای دارند. در نهایت از بین روش‌های نام‌برده شده روش کریجینگ، روش منتخب برای سال ۱۳۹۶ خواهد بود. روش‌های کریجینگ کمکی و RBF نیز به‌عنوان درون‌یاب‌های بعدی در نظر گرفته می‌شوند. از بین روش‌هایی که بررسی شد، روش وزن‌دهی معکوس، در سال ۱۳۹۲ روش کریجینگ معمولی با مقادیر ۱۴/۰۲ و ۱۳/۸۳ روش برتر و در سال ۱۳۹۶ باز هم روش کریجینگ معمولی با کمترین خطا به مقدارهای ۱۴/۵۸ و ۱۴/۴۹ روش انتخابی برای درون‌یابی معرفی شدند. پس از دو روشی که به آن‌ها اشاره شد به ترتیب روش‌های توابع پایه‌شعاعی، روش تیسن و کریجینگ کمکی به جهت درون‌یابی در دشت گناباد توصیه می‌شوند. در بررسی این دشت، انحراف

جدول ۴ - مقادیر RMSE در دشت سرخس

Table 4 - RMSE values in the Sarakhs plain

تپهن ۱۳۹۶	گرداد ۱۳۹۶	تپهن ۱۳۹۲	گرداد ۱۳۹۲	محدوده مکانی	
				بازه زمانی	روش
9.94	11.83	34.57	1.69	وزن‌دهی معکوس فاصله	سرخس
11.87	12.70	30.79	1.58	کریجینگ	
13.98	11.98	33.46	7.29	تیسن	
11.23	12.09	33.09	1.52	تابع پایه شعاعی	
10.74	12.76	29.23	3.06	کریجینگ کمکی	

جدول ۵ - مقادیر R^2 در دشت سرخس

Table 5 - R^2 values in the Sarakhs plain

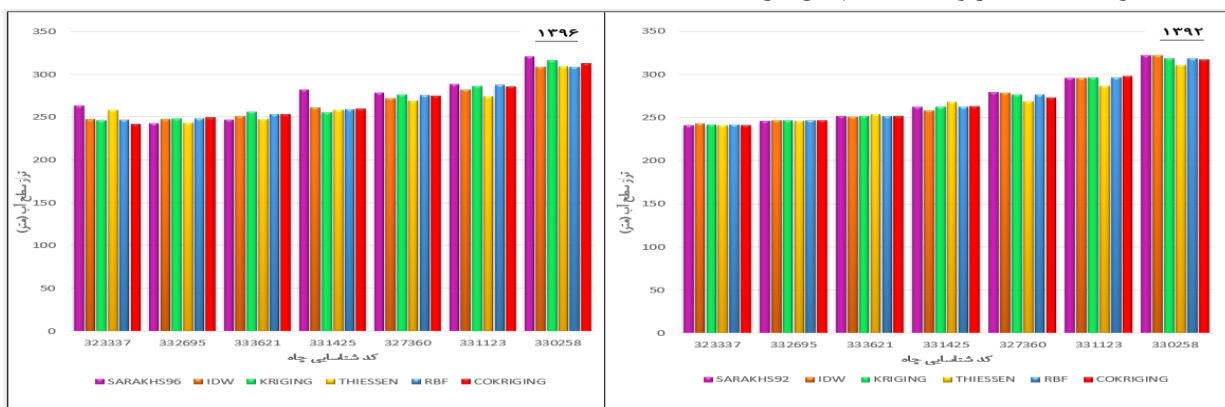
تپهن ۱۳۹۶	گرداد ۱۳۹۶	تپهن ۱۳۹۲	گرداد ۱۳۹۲	محدوده مکانی	
				بازه زمانی	روش
0.87	0.87	0.95	0.99	وزن‌دهی معکوس فاصله	سرخس
0.82	0.78	0.97	0.99	کریجینگ	
0.81	0.91	0.90	0.96	تیسن	
0.87	0.82	0.94	0.99	تابع پایه شعاعی	
0.90	0.80	0.97	0.99	کریجینگ کمکی	

جدول ۶ - مقادیر MBE در دشت سرخس
Table 6 - MBE values in the Sarakhs plain

بهمین ۱۳۹۶	داد ۱۳۹۶	بهمین ۱۳۹۲	داد ۱۳۹۲	بازه زمانی		محدوده مکانی
				روش		
-0.17	7.60	15.89	0.20	وزن‌دهی معکوس فاصله		سرخس
1.42	5.31	13.87	0.37	کریجینگ		
5.10	8.97	17.25	3.29	تیسن		
1.73	6.09	14.27	0.34	تابع پایه شعاعی		
2.66	6.34	15.26	0.93	کریجینگ کمکی		

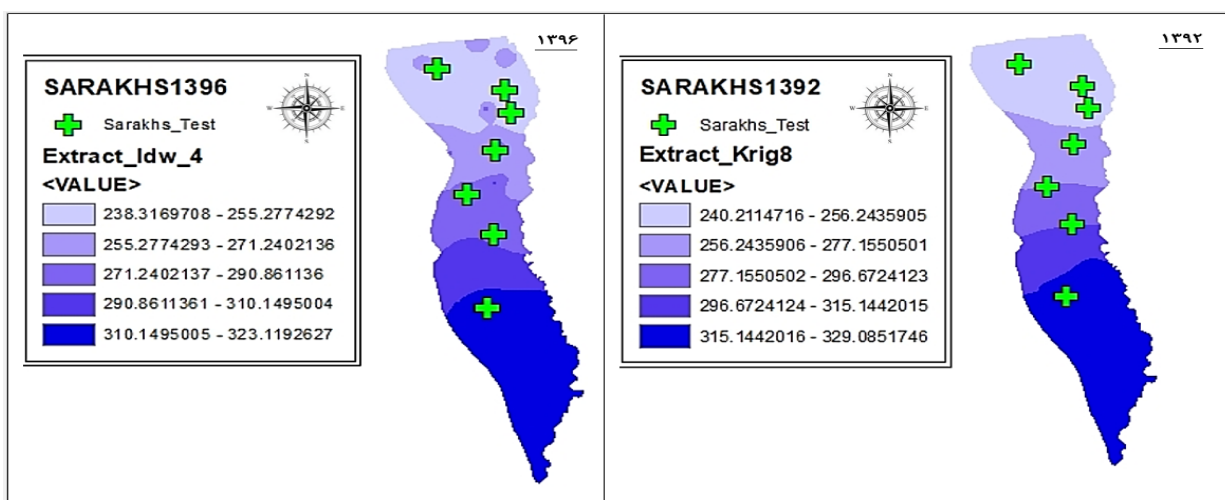
مقدار واقعی و تخمینی بوده که با توجه به روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس، کریجینگ، تیسن، تابع پایه شعاعی، کریجینگ کمکی با مقدار واقعی (رنگ بنفش) مقایسه گردید.

در شکل ۵، کد شناسایی چاه مربوط به ماه مرداد و بهمن در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۲ در دشت سرخس بوده که کد شناسایی ۳۳۳۶۲۱ و ۳۳۲۶۹۵ و ۳۲۳۳۳۷ مربوط به ماه مرداد و کد شناسایی ۳۳۱۴۲۵ و ۳۲۷۳۶۰ مربوط به ماه بهمن در مقایسه



شکل ۵ - مقایسه مقدار مشاهداتی و تخمینی در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۲ دشت سرخس

Figure 5 - Comparison of observed and estimated value in 2013 and 2017 of Sarakhs Plain



شکل ۶ - سطح آب‌های زیرزمینی آبخوان سرخس در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۲

Figure 6 - Groundwater level in the Sarakhs aquifer in 2013 and 2017

۱۳۹۶ نیز، روش‌ها شبیه به هم عمل می‌کنند با این تفاوت که در سال ۱۳۹۲، تخمین مقادیر توسط درون‌یاب‌ها با مقدارهای مشاهداتی از چاه‌ها اختلافی اندک را ایجاد کرد؛ اما در سال ۱۳۹۶ این اختلاف بین سطح تراز واقعی و تراز درون‌یابی شده ملموس‌تر از سال ۱۳۹۲ است. پس از بررسی جدول ۴، ۵ و ۶ و شکل ۵، مشخص گردید که روش برتر در سال ۱۳۹۲ کمترین میزان خطا به مقدار $1/58$ و $30/7$ باز هم متعلق به روش کریجینگ معمولی بود. در سال ۱۳۹۶ روش وزن‌دهی معکوس فاصله با مقدار خطای $11/83$ و $9/94$ برای ماه‌های مرداد و بهمن، بهینه‌ترین روش شناخته شد. مقدار انحراف معیار نتایج روش‌های درون‌یابی در این دشت $1/20$ متر شد؛ که این بدین معناست با انتخاب اشتباه روش درون‌یابی در دشت مذکور به‌طور متوسط خطایی به میزان $1/20$ متر ایجاد می‌گردد.

مطابق شکل ۶، نیز با مشاهده‌ی پهنه‌بندی سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ آشکار می‌گردد که آفت قابل‌توجهی در تراز سطح آب زیرزمینی در حال شکل‌گیری است و بالاترین تراز سطح آب رقمی در حدود ۷ متر کاهش داشته است. هم‌چنین تغییرات اندکی در نواحی شمالی این آبخوان مشهود است که قطعاً بی‌ارتباط با تغییر روش از کریجینگ به IDW نیست.

همچنین با توجه به بررسی مقادیر جدول (۵) استنباط می‌گردد که ضریب تعیین روش‌ها کاملاً با یکدیگر قرابت دارند و در بعضی دوره‌های زمانی با هم یکسان هستند؛ از این‌رو روش ضریب تعیین روش چندان مناسبی برای ارزیابی نخواهد بود و صرفاً میزان نزدیکی یک درون‌یاب به برازش خطی را نمایان می‌سازد. جدول (۶) نیز نشان می‌دهد که مقادیر میانگین انحراف خطاها تا حد زیادی با مقادیر RMSE مطابقت دارد.

با تحلیل نتایج پیش‌بینی‌های انجام‌گرفته، در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ (با توجه به بررسی‌های موجود همان سال است که اطلاعات هر دو سال به دلیل بررسی سطح تراز آب در ترسالی و خشک‌سالی به دو ماه بهمن و مرداد محدود گردید) افت تراز سطح آب زیرزمینی بر اساس بهترین و بهینه‌ترین روش‌های اعمال‌شده در

مقادیر اعتبارسنجی جدول ۴، در دشت سرخس نشان می‌دهد که روش‌ها از دقت کاملاً قابل‌قبولی برخوردارند و این پژوهش با تعداد کافی چاه‌های مشاهداتی و پراکندگی مناسب این چاه‌ها در دشت رابطه‌ی مستقیم دارد. همان‌طور که گفته شد پنج روش مورد مطالعه عملکردی نزدیک به هم دارند اما برای انتخاب روش برگزیده و بهینه مشابه دشت گناباد، درون‌یاب با کمترین مقدار RMSE انتخاب گردید. در سال ۱۳۹۲ روش زمین‌آمار کریجینگ و در سال ۱۳۹۶ روش وزن‌دهی معکوس فاصله بهترین نتایج را ایجاد می‌نمایند. در دوره‌های زمانی مختلف داده‌ها تا حدود زیادی همگن بوده و چاه‌های مشاهداتی نیز پراکندگی مناسبی داشتند. اما لازم به ذکر است در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۲ برای تعیین تراز سطح آب‌های زیرزمینی، داده‌های ناهمگن جدیدی که پراکندگی مناسبی نداشتند، به داده‌های قبلی اضافه گردید تا تأثیر وجود چاه‌های ناهمگن بر روی نتایج روش‌های درون‌یابی نیز به‌نوعی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

مطابق شکل ۵، در سال ۱۳۹۲ نیز هر پنج روش به بهترین شکل درون‌یابی را با حداقل خطا انجام داده‌اند؛ البته با اندکی توجه می‌توان پی برد که اختلاف ناچیزی میان روش تیسن با بقیه روش‌ها مشهود است. در سال

بحث

با توجه به بررسی مقادیر در جدول ۲ (مقایسه ماه‌های مرداد و بهمن در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶)، اختلاف قابل‌توجهی بین میزان خطاها و در نتیجه، میان‌تراز سطح آب زیرزمینی در ماه‌های مرداد و بهمن مشاهده نمی‌گردد. ضمناً در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ در جدول ۳، روش کریجینگ که روشی زمین‌آمار است؛ با توجه به نزدیکی مقادیر MBE این روش در ماه‌های مرداد و بهمن، روش برتر شناخته شد. از طرفی با دقت در مقادیر مشاهده گردید که نتایج مقادیر مربوط به R^2 کاملاً با RMSE هم‌خوانی دارد و هرچه R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، برازش مدل دقیق‌تر و خطای آن پایین‌تر خواهد بود.

اکبری و همکاران

دشت‌های مطالعاتی گناباد، سرخس مقداری ناچیز و قابل چشم‌پوشی در حدود ۴، ۷ و ۵ متر است. در این پژوهش، ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی دشت‌های خراسان رضوی بررسی گردید. پژوهش مورد استفاده در تحقیق حاضر، برگرفته از تحقیق (Bazrafshan and GarkaniNejad, 2019) بوده است. بعد از بررسی هر یک از پارامترهای بهینه، روش‌های درون‌یابی بر اساس بهترین حالت ممکن در هر دوره‌ی زمانی اعمال گردید. مطالعه روش کریجینگ کمکی نیز حاکی از این بود که هر زمان مبنای فرمول‌های آن بر اساس بهینه‌ترین روش کریجینگ قرار گیرد؛ منجر به کم‌ترین مقدار خطا و بیش‌ترین دقت خواهد شد. در روش وزن‌دهی معکوس فاصله توان نقش تعیین‌کننده را ایفا می‌نماید که مقدار توان بسته به فاصله چاه‌ها از یکدیگر تغییر می‌نماید. روش کریجینگ نیز دقت‌های مختلفی را بر اساس توابع تبدیل اولیه و منطبق شونده ارائه می‌دهد. این یافته با مطالعه Sivakugan و همکاران (۲۰۱۸) نیز که به جهت بررسی قابلیت‌های روش کریجینگ تجربی در استان بغداد عراق شروع به پژوهش نمودند مطابقت دارد و به بررسی میزان افزایش دقت درون‌یابی روش فوق جهت پهنه‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی پرداختند سپس نتایج به‌دست‌آمده را با دیگر روش‌های درون‌یابی از جمله وزن‌دهی معکوس فاصله، توابع پایه‌شعاعی و چندجمله‌ای‌های سراسری و محلی مقایسه کردند. همچنین این پژوهش با مطالعه Nikzad و همکاران (2018) که حاکی از افت سطح آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت بیستون استان کرمانشاه است مطابقت دارد. به‌طوری‌که حداکثر این افت معادل ۲۲ متر در قسمت جنوب غربی منطقه در دشت بیستون می‌باشد. این پژوهش با مطالعه Rasoli و همکاران (2023) نیز در محدوده مطالعاتی نرده و هشتگرد که روش کریجینگ را به‌عنوان روش مناسب

برای تحلیل تراز آب زیرزمینی معرفی نمودند مطابقت دارد. همچنین این یافته با مطالعه Subedi و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد و بیان داشتند که نتایج درون‌یابی حاصل از اعتبارسنجی تقاطعی در منطقه تگزاس شرقی آمریکا در بین روش‌های قطعی، روش چند جمله‌ای محلی^۱ از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بود به‌گونه‌ای که حتی در مقایسه با روش زمین‌آماري کریجینگ نیز مقدار خطای کمتری داشت. لذا در پژوهش حاضر در خراسان رضوی از میان دو دشت مورد مطالعه در پژوهش، دشت سرخس دارای مقادیر خطای نسبتاً قابل‌قبولی است؛ اما دشت دیگر به دلیل فرم کشیده‌ای که دارد و همچنین تراکم اندک داده‌های برداشتی دارای مقادیر RMSE بالاتری است. روش درون‌یابی تیسن نیز به‌عنوان روشی با حساسیت بسیار اندک با ایجاد مثلث‌بندی، عمل درون‌یابی را با سرعت بالا و دقت نه‌چندان مطلوب انجام می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

در بررسی بین کمیت‌ها مشخص گردید که هر روش با مقدار خاصی از پارامترها، سطحی متفاوت را ایجاد می‌نماید. در روش وزن‌دهی معکوس فاصله پارامترهای توان، تعداد همسایگی و نحوه‌ی انتخاب شکل همسایگی باید بهینه می‌شد که در این میان توان نقش اساسی را ایفا کرد. نوع روش مورد استفاده در روش توابع پایه شعاعی بیش‌ترین تأثیر را بر روی مقدار RMSE ایجاد نمود و تعداد همسایگی‌ها و شکل انتخاب آن‌ها در اولویت بعدی قرار گرفت. روش تیسن به‌عنوان روشی ساده و بدون حساسیت بر روی کمیت‌ها شناخته شد.

در پژوهش انجام‌گرفته، به جهت بررسی تراز سطح آب زیرزمینی در شرایط مختلف از اطلاعات دو ماه از سال در هر دوره‌ی زمانی استفاده گردید؛ که یکی مربوط به ترسالی (بهمن‌ماه) و دیگری به دوره‌ی خشک‌سالی

¹ Local polynomial method (LPM)

مقادیر RMSE ۱۴/۴۹ متر شد. در دشت سرخس روش‌های کریجینگ ساده و معمولی و هم‌چنین IDW به ترتیب با مقادیر RMSE ۱/۴۱، ۱/۵۸ و ۱۱/۸۳ متر برترین روش‌ها معرفی شدند. در نمایش پهنه‌بندی سطوح آب زیرزمینی که در انتهای هر دشت به وسیله‌ی نقشه آبخوان و تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی نشان داده شد؛ مشخص گشت که نوسانات ارتفاعی با اطلاعات موجود در بررسی‌های هیدروژئولوژی هر محدوده تا حد زیادی مطابقت دارد.

(مردادماه) منتهی شد. بر خلاف تصورات قبلی، به دلیل اقلیم خشک و بارندگی کم در دشت‌های استان، اختلاف چندان قابل‌توجهی میان این دو ماه مشاهده نشد. از طرفی این بررسی برای دو دوره‌ی زمانی مختلف مرتبط با سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ انجام پذیرفت؛ تا نحوه‌ی تغییرات و نوسان تراز سطح آب زیرزمینی کاملاً ملموس گردد.

بهترین جواب برای تخمین تراز سطح آب زیرزمینی دشت گناباد مربوط به روش‌های وزن‌دهی معکوس فاصله با RMSE ۱۱/۹۶ متر و کریجینگ معمولی با

References

- Adhikary, P.P., Jyotiprava, D. (2017). Comparison of Deterministic and Stochastic Methods to Predict Spatial Variation of Groundwater Depth. *Applied Water Science*, 17(6), 339-348. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0249-8>
- AliJani, F., Mousavi, F. & Mohammadi, H. (2022). The Study of Effects of Restoration and Resilience Plan on Groundwater of Qaleh Tol Plain, North East Khuzestan. *Sustainable Water and Development Journal*, 9(3), 39-48. <https://doi.org/10.22067/JWSD.V9I3.2212.1196> (In Persian).
- Arslan, H. (2014). Estimation of Spatial Distribution of Groundwater Level and Risky Areas of Seawater Intrusion on the Coastal Region in Carsamba Plain. Turkey, Using Different Interpolation Methods. *Environmental monitoring and assessment* 186(8), 123-134. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3764-z>
- Bazrafshan, O. & GarkaniNejad, Z. (2019). Optimizing of Piezometric Wells Number for Groundwater Level Prediction Using Factor Analysis (Case Study: Minab Plain). *Iran Irrigation and Water Journal*, 9(2), 80-94. <https://doi.org/10.22125/IWE.2019.87268> (In Persian).
- Bhattacharjee, S., Chakravarty, S., Maity, S., Dureja, V. & Gupta, K.K. (2005). Metal Contents in the Groundwater of Sahebgunj District Jharkhand. India with Special Reference to Arsenic. *Chemosphere* 58(9), 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.055>
- Bhunja, G.S., Shit, P.K. & Maiti, R. (2018). Comparison of Gis-Based Interpolation Methods for Spatial Distribution of Soil Organic Carbon (Soc). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17(2), 114-126. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.001>
- Bronowicka, U., Mielniczuk, J., Obrosiak, R. & Przystupa, W. (2019). A Comparison of Some Interpolation Techniques for Determining Spatial Distribution of Nitrogen Compounds in Groundwater. *International Journal of Environmental Research*, 7(2), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s41742-019-00208-6>
- Daliakopoulos, I.N., Coulibaly, P. & Ioannis, K.T. (2005). Groundwater Level Forecasting Using Artificial Neural Networks. *Journal of hydrology*, 30(9), 229-240. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.12.001>
- Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R. & Bautista, F. (2010). Quality of Groundwater for Irrigation in Tropical Karst Environment: The Case of Yucatan, Mexico. *Agricultural Water Management*, 97(10), 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.006>
- Ebadi, J. & Rezaei Moghadam, m. (2019). Estimating Accuracy of Artificial Neural Networks and Geo Statistical Methods in Interpolating Groundwater Levels Case Study: Shabestar-Sufian Plain. *Scientific-Research Quarterly of Geographical*

- Information*, 28(110), 133-45. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36618> (In Persian).
- Eldrandaly, K.A. & AbuZaid, M.S. (2011). Comparison of Six Gis-Based Spatial Interpolation Methods for Estimating Air Temperature in Western Saudi Arabia. *Journal of environmental Informatics* 18(1), 38-49. <https://doi.org/10.3808/jei.201100197>
- Elumalai, V., Brindha, K., Sithole, B. & Lakshmanan, E. (2017). Spatial Interpolation Methods and Geostatistics for Mapping Groundwater Contamination in a Coastal Area. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 160-171. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8681-6>
- Gholizadeh Sarabi, Sh., Joodavi, A., Majidi Khalilabad, M., Ebrahimi, A. & Ronaghi, A. (2022). Methodology for Groundwater Mointoring Network Assessment and Design, Part2: Iran Evaluation of Monitoring Network by Acceptance Probability Method. *Journal of Water and Sustainable Development*, 9(3), 1-10. <https://doi.org/10.22067/JWSD.V9I3.2203.1131> (In Persian).
- Ghorbani, F. & Salarijezi, A. (2018). Evaluation of the Empirical Bayesian Kriging Method in Groundwater Level Zoning. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 25(1), 165-182. <https://doi.org/10.22069/JWSC.2018.13571.2826> (In Persian).
- Ghosh, M., Pal, D.K. & Santra, S.C. (2019). Spatial Mapping and Modeling of Arsenic Contamination of Groundwater and Risk Assessment through Geospatial Interpolation Technique. *Environment, Development and Sustainability*, 22(7), 2861-2880. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00322-7>
- Gong, G., Mattevada, S. & O'Bryant, S.E. (2014). Comparison of the Accuracy of Kriging and IDW Interpolations in Estimating Groundwater Arsenic Concentrations in Texas. *Environmental research*, 130(3), 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.12.005>
- Habibabadi, N.G. & Derakhshan, H. (2023). Groundwater-Drought Conjunctive Management: A Review of California Experiences. *Journal of Water and Sustainable Development*, 10(1), 77-86. <https://doi.org/10.22067/JWSD.V10I1.2302-1219> (In Persian).
- Jie, C., Zhang, H., Hui, Q., Jianhua, W. & Xuedi, Z. (2013). Selecting Proper Method for Groundwater Interpolation Based on Spatial Correlation. *International Conference on Digital Manufacturing & Automation*. <https://doi.org/10.1109/ICDMA.2013.282>
- Kalhor, A., Araabi, B.N. & Lucas, C. (2013). Evolving Takagi-Sugeno Fuzzy Model Based on Switching to Neighboring Models. *Applied Soft Computing*, 13(2), 939-946. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.09.015>
- Kaminska, A. & Grzywna, A. (2014). Comparison of Deteministic Interpolation Methods for the Estimation of Groundwater Level. *Journal of Ecological Engineering*, 15(4), 55-65. <https://doi.org/10.12911/22998993.1125458>
- Khodadadi, M., Nassery, H.R. & Nikpeyman, Y. (2022). Assessment of the Groundwater Restoration and Balancing with Emphasis on Smart Meters in Shahriar Plain. *Sustainable Water and Development Journal*, 9(3), 49-56. <https://doi.org/10.22067/JWSD.V9I3.2212.1197> (In Persian).
- Li, J. & Heap, A.D. (2014). Spatial Interpolation Methods Applied in the Environmental Sciences: A Review. *Environmental Modelling & Software*, 53(3), 173-189. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>
- Ma, S., Chen, F., Wang, Q. & Zhao, Z. (2012). Sugeno Type Fuzzy Complex-Value Integral and Its Application in Classification. *Procedia Engineering*, 29(6), 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.634>
- Nikzad, M., Moradi, H.R. & Jalili, Kh. (2018). Estimation of Temporal and Spatial Variations of the Level of the Aquifers in Bisotun Plain of Kermanshah Province with Geostatistical Methods. *Iran Irrigation and Water Journal*, 8(4), 79-92. (In Persian).
- Ohmer, M., Liesch, T., Goeppert, N. & Goldscheider, N. (2017). On the Optimal Selection of Interpolation Methods for Groundwater Contouring: An Example of

- Propagation of Uncertainty Regarding Inter-Aquifer Exchange. *Advances in water resources*, 109(3), 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.08.016>
- Piazza, A.D., Conti, F.L., Noto, L.V., Viola, F. & Loggia, G.L. (2011). Comparative Analysis of Different Techniques for Spatial Interpolation of Rainfall Data to Create a Serially Complete Monthly Time Series of Precipitation for Sicily Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 396-408. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.01.005>
- Rasoli, M.M., Ketabchi, H. & MahmoudZadeh, D. (2023). Evaluation of Interpolation Methods for Zoning the Groundwater Level and Determining the Flow Direction (Case Study: two study areas of Iran). *21st Iranian Hydraulic Conference*, Martyr Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
- Regional water organization Razavi Khorasan. 2017. (In Persian).
- Samadi, M. (2017). Spatio-Temporal Modeling of Groundwater Level Variations of Urban and Rural Areas in Kashan Aquifer Using GIS Techniques. *Environmental Science and Technology Quarterly*, 19(1), 63-77. <https://doi.org/10.22034/jest.2017.10329> (In Persian).
- Shahid, S.U., Iqbal, J. & Khan, S.J. (2017). A Comprehensive Assessment of Spatial Interpolation Methods for the Groundwater Quality Evaluation of Lahore. Punjab Pakistan. *NUST Journal of Engineering Sciences*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.24949/njes.v10i1.239>
- Sivakugan, N., Al-Adili, A.S. & Ali, M.H. (2018). Comparison between Deterministic and Stochastic Interpolation Methods for Predicting Groundwater Level in Baghdad. *Engineering and Technology Journal*, 36(12), 12-25. <https://doi.org/10.30684/etj.36.12A.2>
- Subedi, M.R., Xi, W., Edgar, C.B., Rideout-Hanzak, S. & Hedquist, B.C. (2019). Assessment of Geostatistical Methods for Spatiotemporal Analysis of Drought Patterns in East Texas USA. *Spatial Information Research*, 27(1), 11-21. <https://doi.org/10.1007/s41324-018-0216-9>
- Wang, S., Huang, GH., Lin, QG., Li, Z., Zhang, H. & Fan, YR. (2014). Comparison of Interpolation Methods for Estimating Spatial Distribution of Precipitation in Ontario Canada. *International Journal of Climatology*, 34(14), 37-51. <https://doi.org/10.1002/joc.3941>
- Xiao, Y., Gu, X., Yin, S., Shao, J., Cui, Y., Zhang, Q. & Niu, Y. (2016). Geostatistical Interpolation Model Selection Based on Arcgis and Spatio-Temporal Variability Analysis of Groundwater Level in Piedmont Plains, Northwest China. *SpringerPlus*, 5(1), 425-436. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2073-0>

Evaluating the tourism value of geomorphosites in arid areas (Case study: Salt domes of Semnan Province)

Mansooreh Dormohammadi¹, Hayedeh Ara^{2*}, Mohammadkia Kianian¹, Amin Salehpour Jam³

1-Combat Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran

2-Arid Area Management Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran

3-Soil Conservation and Watershed Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

*Corresponding author: ara338@semnan.ac.ir

(Received: 06 April 2024

Revised: 27 April 2024

Accepted: 26 May 2024)

Extended Abstract

Introduction: The salt domes of Semnan province are geomorphosites that have undergone many changes and transformations over time, influenced by internal and external factors. As a result of these developments, very diverse and beautiful geomorphological forms have appeared on the surface of these domes and the surrounding areas. The existence of such natural attractions has made this province one of the most important regions in the country for attracting private investors in tourism and developing infrastructure for the tourism industry. This research aims to first investigate the salt domes of Semnan province and then identify which domes can be converted into geomorphosites. For this purpose, two regions of the salt domes in Semnan province were considered as geostructures: the salt domes in the south of the province and the salt domes of Garmsar.

Materials and Methods: After determining the locations of the salt domes in these two regions on the province map using Google Earth, related shape layers, ArcGIS software, and the Geosite Assessment Model (GAM) and its modified model (M-GAM), the tourism value of the two regions was evaluated, and the limitations of these area were determined. These salt domes were quantitatively analyzed using 27 sub-criteria from the GAM and M-GAM models, supported by a questionnaire. Data from the questionnaire (168 participants, including 117 experts and specialists, and 51 tourists and visitors) were input into the models, and the results were compared. The total values (main and supplementary) were placed in the matrices of models and analyzed. Finally, the sites were ranked based on three key values in each geomorphosite: scientific, conservation, and tourism values. Since geomorphosites are closely related to these three values, the two studied geomorphosites were ranked accordingly by combining sub-criteria and detailed values from the two models.

Results and Discussion: Based on the final values obtained, the salt domes of Garmsar rank first, and the salt domes in the southern province rank second. The results showed that the final value of the salt domes in the south of the province and Garmsar in the GAM model is 10.5 and 13.25, respectively, while the final values in the M-GAM model are 5.66 and 6.61, respectively. By examining the results of this research and other studies, it can be concluded that most geomorphosites have a high value in terms of main values but a low value in terms of complementary and infrastructure values. This combination was equally observed in both models. In both models, Garmsar salt domes ranked first in scientific and tourism values, while the salt domes in the south of the province ranked first in conservation values. The primary reason for the higher conservation value of the southern salt domes and their lower scientific and tourism values is the poor access to these domes. The lack of suitable roads, the presence of a military zone in the south of the province, and the lengthy process of obtaining permission to enter the region are the main barriers to proper access. These access issues create several bottlenecks, including inadequate infrastructure, lack of accommodation, insufficient restaurant services, and a general lack of public awareness about the existence of these salt domes. Therefore, improving access to the salt domes in the south of the province and leveraging this natural resource's potential is crucial.

Conclusion: Due to the greater attention given to the salt domes in the south and west of the country, which are important for oil reserves and other economic resources, less attention has been paid to other salt domes. Based on the findings, it can be concluded that using the GAM and M-GAM methods together allows for better investigation of geomorphosites. Since geomorphosites are closely related to scientific, conservation, and tourism values, the 27 sub-criteria were categorized accordingly. This new composition can significantly aid geomorphotourism planning and prioritization. Since tourism transforms threats into opportunities, developing suitable infrastructures and investing in tourism can mitigate the negative aspects of salt domes.

Key words: Dry Areas, Tourism, Geomorphosite, Salt domes, Semnan Province.

Citation: Dormohammadi, M., Ara, H., Kianian, M. & Salehpour Jam, A. (2024). Evaluating the tourism value of geomorphosites in arid areas (Case study: Salt domes of Semnan province). *Integrated Watershed Management*, 4(3), 68-82. doi= 10.22034/iwm.2024.2025928.1145

Copyrights:

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



ارزیابی ارزش گردشگری زمین‌سازهای مناطق خشک (مطالعه‌ی موردی: گنبدهای نمکی استان سمنان)

منصوره درمحمدی^۱، هایده آرا^{۲*}، محمدکیا کیانیان^۱، امین صالح پورجم^۳

۱- گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- گروه مدیریت مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

*نویسنده مسئول: ara338@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

چکیده مبسوط

مقدمه: گنبدهای نمکی استان سمنان به‌عنوان یکی از زمین‌سازهای است که در گذر زمان و با تأثیرپذیری عوامل درونی و بیرونی، دچار تغییر و تحولات بسیاری شده‌اند. در پی این تحولات، اشکال زمین‌ریخت‌شناسی بسیار متنوع و زیبایی در سطح این گنبدها و مناطق پیرامون آن پدیدار گشته است. وجود چنین جاذبه‌های طبیعی باعث گردیده، تا این استان از مهم‌ترین مناطق کشور برای جذب سرمایه‌گذار خصوصی در زمینه‌ی جذب گردشگر و فراهم نمودن زیرساخت‌های توسعه‌ی صنعت گردشگری باشد. هدف از انجام این تحقیق در ابتدا بررسی گنبدهای نمکی استان سمنان و سپس شناسایی گنبدهایی است که قابلیت تبدیل شدن به زمین‌ساز را دارند. بدین منظور، دو منطقه از گنبدهای نمکی استان شامل گنبدهای نمکی جنوب استان و گنبدهای نمکی گرمسار به‌عنوان زمین‌ساز در نظر گرفته شدند.

مواد و روش‌ها: پس از تعیین موقعیت گنبدهای نمکی این دو منطقه روی نقشه‌ی استان به کمک نرم‌افزارهای Google Earth و ArcGIS نقشه‌های مربوطه، با بهره‌گیری از الگوی ارزیابی ژئوسایت (GAM) و مدل اصلاح‌شده‌ی آن (M-GAM) به تحلیل و ارزیابی میزان ارزش گردشگری دو منطقه پرداخته و سپس محدودیت‌های دو سازه مشخص گردید. گنبدهای نمکی جنوب استان سمنان و گرمسار، در قالب ۲۷ زیرمعیار دو مدل GAM و M-GAM و با استفاده از پرسش‌نامه مورد تجزیه‌ی کمی قرار گرفت. داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ها (۱۶۸ مورد شامل ۱۱۷ کارشناس و متخصص و ۵۱ گردشگر و بازدیدکننده) در هر دو مدل جای‌گذاری شده و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه گردید. ارزش‌های کلی (اصلی و مکمل) به دست آمده، در ماتریس دو مدل جای‌گذاری و مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت، بر اساس سه ارزش نهفته در هر زمین‌ساز (ارزش‌های علمی، حفاظتی و گردشگری)، زمین‌سازها مورد رتبه‌بندی قرار گرفت. از آن‌جا که زمین‌سازها ارتباط تنگاتنگی با سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری دارند، با ترکیب زیرمعیارها و ارزش‌های جزئی موجود در دو مدل، دو زمین‌ساز مورد مطالعه، بر اساس این ارزش‌ها رتبه‌بندی گردیدند.

نتایج و بحث: بر اساس ارزش نهایی به‌دست‌آمده، گنبدهای نمکی گرمسار در رتبه‌ی اول و گنبدهای نمکی جنوب استان سمنان در رتبه‌ی دوم قرار دارد. نتایج حاکی از آن است، ارزش نهایی گنبدهای نمکی جنوب استان و گرمسار در مدل GAM به ترتیب ۱۰/۵ و ۱۳/۲۵ و در مدل M-GAM به ترتیب ۵/۶۶ و ۶/۶۱ می‌باشد. با بررسی نتایج این تحقیق و دیگر پژوهش‌ها می‌توان گفت، که اکثر زمین‌سازها در زمینه‌ی ارزش‌های اصلی از ارزش بالایی برخوردارند و در بخش ارزش‌های مکمل و زیرساختی، ارزش پایینی دارند. نتایج حاصل از این ترکیب در دو مدل به‌طور یکسان به دست آمد. در هر دو مدل، در بخش ارزش‌های علمی و ارزش‌های گردشگری، گنبدهای نمکی گرمسار و در بخش ارزش‌های حفاظتی، گنبدهای نمکی جنوب استان در رتبه‌ی اول قرار گرفت. مهم‌ترین دلیل برتری گنبدهای نمکی جنوب استان سمنان در بخش ارزش‌های حفاظتی و پایین بودن ارزش‌های علمی و گردشگری آن، به سبب دسترسی نامناسب به گنبدهای نمکی جنوب استان است. نبود جاده‌های مناسب جهت تردد وسایط نقلیه، وجود منطقه‌ی نظامی در جنوب استان و روند طولانی دریافت مجوز جهت ورود به منطقه از دلایل اصلی عدم دسترسی مناسب به گنبدهای نمکی جنوب استان است. عدم دسترسی مناسب می‌تواند تنگناهایی ایجاد کند. از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد؛ عدم وجود زیرساخت‌های مناسب، عدم وجود اماکن اقامتی، عدم وجود خدمات رستوران، عدم شناخت مردم از وجود گنبدهای نمکی جنوب استان و غیره. از این‌رو، توجه و رسیدگی به موضوع دسترسی به گنبدهای نمکی جنوب استان و استفاده‌ی مناسب از ظرفیت این موهبت الهی، اهمیت زیادی دارد.

نتیجه‌گیری: به دلیل توجه بیش‌تر به گنبدهای نمکی جنوب و غرب کشور و اهمیت این گنبدها از لحاظ ذخایر نفتی و سایر منابع اقتصادی، نسبت به دیگر گنبدهای نمکی موجود در سطح کشور، توجه کمتری شده است. با توجه به موارد بحث شده، می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از روش‌های GAM و M-GAM به‌صورت توأمان می‌توان به بررسی بهتر زمین‌سازها پرداخت. از آن‌جا که زمین‌سازها ارتباطی تنگاتنگ با سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری دارند، ۲۷ زیرمعیار به صورت ارزش‌های علمی، حفاظتی و گردشگری تقسیم و دسته‌بندی گردید. ترکیب جدید می‌تواند به برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی زمین‌گردشگری کمک شایانی نماید. از آن‌جا که گردشگری تبدیل تهدیدها به فرصت‌ها است، می‌توان جنبه‌های منفی گنبدهای نمکی را با توسعه، ایجاد زیرساخت‌های مناسب و سرمایه‌گذاری در گردشگری، بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: مناطق خشک، گردشگری، زمین‌ساز، گنبدهای نمکی، استان سمنان

استناد: درمحمدی، م.، آرا، ه.، کیانیان، م. و صالح‌پورجم، الف. (۱۴۰۳). ارزیابی ارزش گردشگری زمین‌سازهای مناطق خشک (مطالعه‌ی موردی: گنبدهای نمکی استان سمنان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۲)، ۶۸-۸۲.

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

گنبد‌های نمکی از جمله پدیده‌های قابل توجه در طبیعت هستند و از منظر ژئومورفولوژی از اهمیت شایانی برخوردارند (Bratić *et al.*, 2020; Elkaichi *et al.*, 2024). اساساً زمین‌سازها، اشکال زمین‌شناختی هستند، که طی زمان ارزش‌های خاصی مانند علمی، فرهنگی، تاریخی، زیبایی و اقتصادی-اجتماعی را به دست می‌آورند (Nikandish & Sangri, 2011; Mousavi, 2011; Maghsoudi *et al.*, 2011; Zomorrodian, 2012; Nohegar *et al.*, 2012; Paknahad & Kayani, 2012; Pelfini, & Bollati, 2014; Pazki, & Sheikhi, 2015; Božić *et al.*, 2015; Kubalíková, & Kirchner, 2016; Zangiabadi, 2016; Šuleic & Pavic, 2016; Carrión-Mero *et al.*, 2024) و سازوکار تشکیل آن‌ها هنوز به‌طور دقیق مشخص نشده و تاکنون در این زمینه دیدگاه‌های متفاوتی ارائه شده است. اشکالی همچون چشمه‌های کارستی، پدیده‌های لغزشی، یخچال‌های نمکی و غیره از جمله پدیده‌های جالب مربوط به گنبد‌های نمکی هستند (Shayan *et al.*, 2013). علی‌رغم اهمیت گنبد‌های نمکی و چشم‌اندازهای جالب و دیدنی موجود در بسیاری از آن‌ها، این پدیده‌ها کمتر از سوی ژئومورفولوژیست‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند و بیش‌تر از جنبه‌های منفی به آن‌ها نگریده‌اند (Edina *et al.*, 2022). در این راستا، گردشگری ژئومورفولوژی می‌تواند افق تازه‌ای پیش‌روی محققان این حوزه بگشاید. محققانی همچون Veisi و Ahmadi (2021) با مطالعه زمین‌سازهای کارستی (آبشار ریجاب، سراب بیستون، سراب طاقبستان، سراب گیلانغرب، سراب صحنه و غار قوری قلعه) استان کرمانشاه با مدل GAM و M-GAM به این نتیجه رسیدند، که زمین‌سازها از ارزش علمی-آموزشی و زیبایی‌شناختی تقریباً مناسبی برخوردارند، اما به لحاظ ارزش‌های گردشگری زمین‌سازهای منطقه مورد مطالعه وضعیت مطلوبی ندارند و نیازمند ارتقای گردشگری پایدار هستند. در این راستا، Rastegar

Darabi (2023) طی ارزیابی توانمندی ژئوتوریستی شهرستان فیروزآباد، از سه روش Peralong، Kubalíkova و GAM¹ استفاده کردند. در روش پرالونگ ژئوسایت‌های تنگ هایقر و قلعه دختر، در روش کوبالیکوا ژئوسایت‌های تنگ هایقر و قلعه دختر، دریاچه سد تنگاب و غار اشکفت گاوی، و در ماتریس GAM ژئوسایت‌های واقع در زون‌های Z21، Z22 و Z32، از توان طبیعی و پتانسیل لازم برای فعالیت‌های ژئوتوریستی بهره‌مندند. شاخص ارزش‌های مکمل، بیانگر اقدامات توسعه‌ای پایین و نیاز به حمایت در قالب برنامه‌ریزی گردشگری، کنترل و حفاظت از ژئوسایت‌ها است.

همچنین، تحقیق مشابهی توسط Višnić و همکاران (2016) صورت گرفت، که به بررسی پتانسیل توسعه‌ی ژئوتوریسم در فلات سِرم‌لوئس² صربستان با استفاده از روش مقدماتی GAM پرداختند. نتایج نشان داد، کم‌ترین امتیاز مربوط به معیارهای توسعه‌ی زیرساخت‌های گردشگری است، که نشان می‌دهد ژئوتوریسم در Vojvodina و فلات Srem Loess در وضعیت فعلی توسعه نیافته است. همچنین بیش‌ترین امتیاز را معیار پتانسیل توسعه‌ی ژئوتوریسم در آینده، دریافت نموده است. Ghanavati و Rayati Shavvazi (2016) قابلیت‌های زمین‌سازهای گردشگری شهرستان تفت در استان یزد را با استفاده از مدل GAM ارزیابی نمودند. برای این کار، ۶ زمین‌ساز شهرستان مذکور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی نشان داد، بالاترین امتیاز برای ارزش‌های اصلی به سایت برفخانه‌ی طرزجان (۷/۷۵) و بالاترین امتیاز برای ارزش‌های اضافی به کوه عقاب (۸/۷۵) تعلق گرفت. به‌طور کلی ژئوسایت کوه عقاب دارای بالاترین امتیاز (۱۴/۲۵) و ژئوسایت چشمه تامهر با امتیاز ۱۴ در اولویت دوم قرار گرفت. Tomić و Božić (2015) در پژوهشی به بررسی پتانسیل مقصدهای ژئوتوریسمی همچون دره‌ها و تنگه‌های صربستان از راه

². Srem Loess Plateau

¹. Geosite Assessment Model

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه در این پژوهش، گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان و گنبد‌های نمکی گرمسار هستند (شکل ۱ و ۲). استان سمنان در شمال شرق کشور در موقعیت جغرافیایی $۵۱^{\circ}۵۰'$ تا $۵۷^{\circ}۳'$ طول شرقی و $۳۴^{\circ}۱۵'$ تا $۳۷^{\circ}۲۰'$ عرض شمالی قرار دارد. مرکز این استان یعنی شهر سمنان، در ارتفاع ۱۱۷۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است.



شکل ۱- نمایی از گنبد نمکی کوه‌دشت در گرمسار

استان سمنان

Figure 1- A view of the Kohdasht salt dome in Garmsar, Semnan province



شکل ۲- تصویر تعدادی از گنبد‌های نمکی جنوب

سمنان

Figure 2- Image of a number of salt domes in the south of Semnan

اقلیم نیمه بیابانی شدید، که قسمتهایی از استان از جمله گرمسار و بنکوه را در بر گرفته است. در مرکز استان یعنی شهرستان سمنان، زمستان‌ها، معتدل و تابستان‌ها گرم می‌باشد. بیش‌تر از ۵۰ گنبد نمکی در

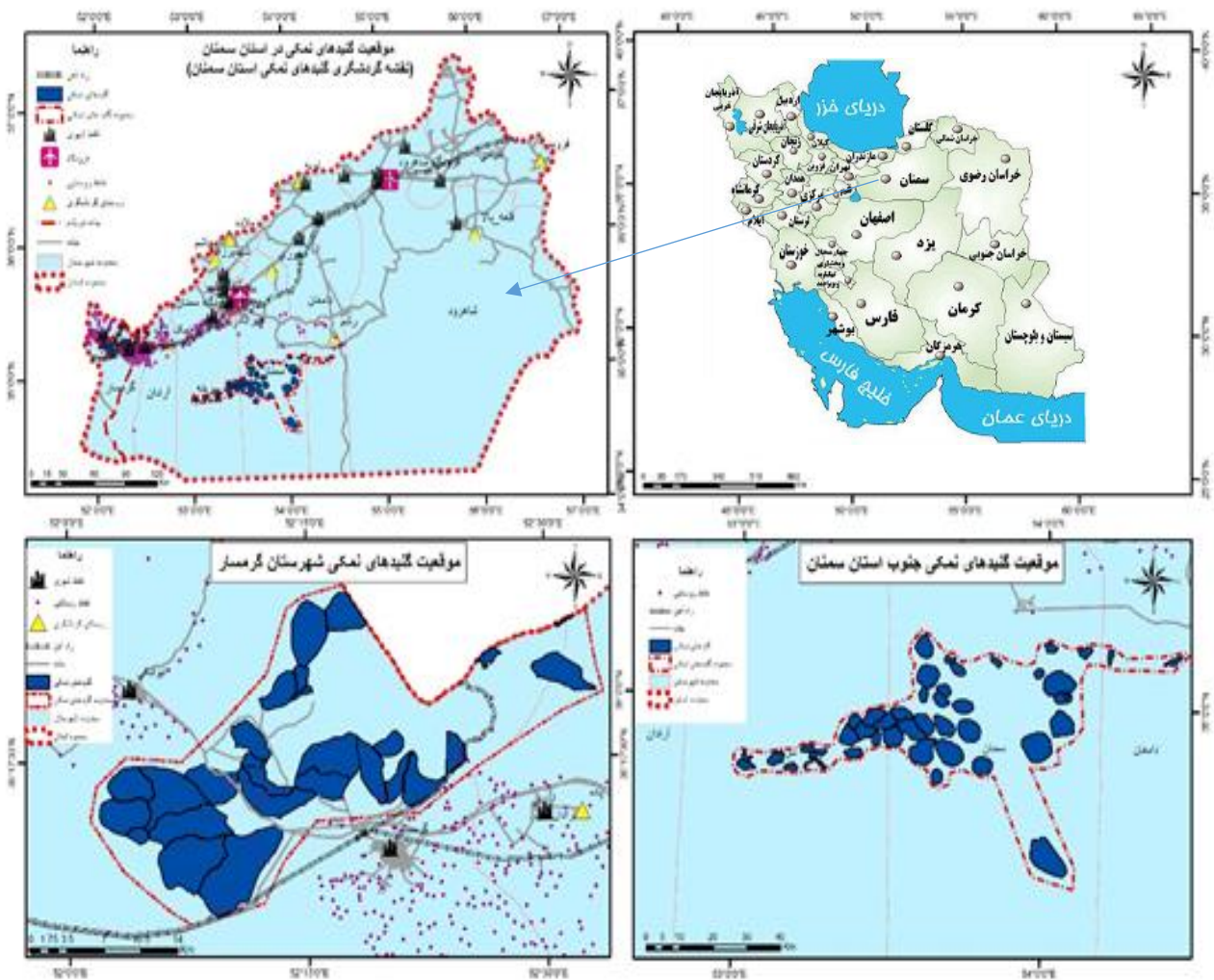
تجزیه و تحلیل تطبیقی ژئوتوریسم عمومی و محض با استفاده از مدل M-GAM پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد، ژئوتوریسم عمومی در مقایسه با ژئوتوریسم خالص از ارزش‌های قابل توجهی برخوردار است. همچنین، Valjarević و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی پتانسیل گردشگری و جذابیت طبیعی آبگرم لوکوواسکای^۱ صربستان با استفاده از مدل GAM و GIS پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن است، این آبگرم دارای ارزش‌های زیادی است و از جذابیت‌های زیادی در سطح صربستان و حتی اروپا برخوردار است.

بطور کلی، گنبد‌های نمکی به عنوان یکی از اشکال زمین‌شناختی مناطق بیابانی و کویری، از لحاظ زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی ارزش گردشگری زیادی دارند. علت این امر آن است، که به لحاظ موقعیت جغرافیایی خود، امکانات بالقوه‌ی مناسبی از جهت اقتصادی، اجتماعی و صنعتی در زمینه‌ی توسعه‌ی صنعت زمین‌گردشگری فراهم کرده‌اند (Taherkhani, 2019). پس از ارزیابی زمین‌سازها، می‌توان برخی را که مستعد گردشگری هستند، شناسایی نمود و با تقویت نقاط قوت و رفع محدودیت‌های آن‌ها گام بلندی در جهت گردشگری زمین‌سازها برداشت. هدف این تحقیق نیز، شناسایی گنبد‌های نمکی دارای قابلیت تبدیل به یک ژئومورفوسایت، ارائه‌ی نقشه‌ی گردشگری و تعیین میزان ارزش‌گذاری آنها با استفاده از مدل‌های GAM و M-GAM می‌باشد. تاکنون در زمینه‌ی گردشگری گنبد‌های نمکی استان سمنان، تحقیقی که بتواند نگاهی جامع در جهت برآورد، تحلیل و توسعه‌ی گردشگری گنبد‌های نمکی داشته باشد، انجام نشده است. امید است، پژوهش حاضر بتواند آغازی بر مطالعه قابلیت‌های گردشگری زمین‌سازهای استان سمنان (با توجه به جنبه‌ی اقتصادی، اجتماعی و صنعتی آن در زمینه‌ی توسعه‌ی صنعت زمین‌گردشگری) باشد.

^۱. Lukovska

شهرستان‌های گرمسار، سمنان و دامغان) و گنبد‌های نمکی شهرستان گرمسار (بیش از ۲۰ گنبد نمکی و در شمال و شمال غرب شهرستان گرمسار و ۸۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران) می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از شرق به گرمسار، از شمال به ایوانکی، از غرب به تهران و از جنوب به جاده‌ی تاریخی سنگ‌فرش، پارک ملی کویر و اتوبان گرمسار- قم محدود می‌شوند.

قسمت‌های جنوبی شهر سمنان و شرق گرمسار مشاهده می‌شوند، که دارای وسعت ۷۳۳/۲۴۸ کیلومترمربع هستند؛ یعنی حدود ۰/۸ درصد از مساحت استان را دربرمی‌گیرند. جهت بررسی بهتر و دقیق‌تر گنبد‌های نمکی استان سمنان، مطالعه و ارزیابی در دو منطقه (دو زمین‌سازه) صورت گرفت که شامل گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان (در جنوب



شکل ۳- نقشه‌ی گردشگری گنبد‌های نمکی استان سمنان

Figure 3- Tourism map of the salt domes in Semnan province

اصلاح شده‌ی آن، برآمده از نظرات کارشناسان و گردشگران می‌باشد و در نهایت با مقایسه‌ی نتایج دو مدل می‌توان به بررسی بهتر و دقیق‌تر نقاط قوت و ضعف گردشگری دو زمین‌سازه، پرداخت. به‌منظور گردآوری اطلاعات از پیمایش و مطالعات میدانی (مصاحبه، پرسش‌نامه و مشاهده‌ی گنبد‌های نمکی) و

روش تحقیق

در این تحقیق از دو مدل GAM (مدل ارزیابی ژئوسایت) و مدل M-GAM (مدل اصلاح شده‌ی مدل ارزیابی ژئوسایت) استفاده شده و زیرمعیارهای مورد بررسی در هر دو مدل یکسان است. همچنین، مدل ارزیابی ژئوسایت بر مبنای نظرات کارشناسان و مدل

$$Im = \frac{\sum_{k=1}^K Iv_k}{K} \quad (1)$$

$$0 \leq Im \leq 1$$

Im: عامل (ضریب) اهمیت به بازدیدکنندگان

K: کل تعداد بازدیدکنندگان

Iv_k: نمره (امتیاز) یک بازدیدکننده برای هر زیرمعیار

$\sum_{k=1}^K Iv_k$: مجموع نمرات (امتیازات) تمام

بازدیدکنندگان برای هر زیرمعیار

(۲)

$$M-GAM = Im (GAM) = \quad 0 \leq M-GAM \leq \quad GAM$$

$$Im (MV + AV)$$

M-GAM: ارزش نهایی مدل M-GAM

GAM: ارزش نهایی مدل GAM

MV: ارزش‌های اصلی

AV: ارزش‌های مکمل

Im: عامل (ضریب) اهمیت به بازدیدکنندگان.

بیش‌تر ارزش‌ها، از نظرسنجی کارشناسان، متخصصان و مردم بومی و مصاحبه‌ی با آن‌ها به دست آمد و بخش کمی از ارزش‌ها، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی نقشه‌های موجود از استان سمنان همچون نقشه‌ی راه‌های ارتباطی استان و تصاویر ماهواره‌ای حاصل گردید. داده‌های حاصل از پرسش‌نامه در رابطه‌های ۱ و ۲ جای‌گذاری شده و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه گردید. در نهایت، رتبه‌بندی نهایی بر اساس سه ارزش نهفته در هر زمین‌سازه (ارزش‌های علمی، حفاظتی و گردشگری)، انجام شد. از آن‌جا که زمین‌سازه‌ها ارتباط تنگاتنگی با سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری دارند و زمین‌گردشگری بر پایه‌ی دو رکن اساسی امر حفاظت و پایداری، و توسعه‌ی ارکان صنعت گردشگری بر مبنای ارزش‌های گردشگری و ارزش‌های علمی نهادینه شده است، با ترکیب زیرمعیارها و ارزش‌های جزئی موجود در دو مدل، دو زمین‌سازه مورد مطالعه، بر اساس ارزش‌های علمی، حفاظتی و گردشگری، رتبه‌بندی گردیدند.

همچنین مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی، بر مبنای مدل‌های GAM و M-GAM استفاده گردید. گنبدهای نمکی به کمک گوگل ارث و نقشه‌ی زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰)؛ راه‌های فرعی و خاکی، فرودگاه‌ها و غیره بر روی تصاویر گوگل ارث مشخص شدند. در نهایت، از نرم‌افزار ArcGIS جهت تبدیل فرمت شیپ‌فایل‌ها (shp^۱) به فرمت گوگل ارث (kmz یا kml) استفاده گردید. سپس لایه‌های رقومی راه‌ها، مرز استان و شهرستان‌ها، نقاط شهری، روستایی، راه‌آهن و غیره نیز اضافه گردید. برای گنبدهای نمکی جنوب استان و گرمسار یک مرز تقریبی به صورت قراردادی تعریف شد. خروجی نهایی به صورت یک نقشه‌ی گردشگری درآمد (شکل ۱). پرسش‌نامه جهت اخذ نظرات کارشناسان و بازدیدکنندگان بر اساس ۲۷ زیرمعیار تعریف شده در مدل GAM و به صورت محقق‌ساخته، تنظیم گردید (جدول ۱). توزیع پرسش‌نامه در میان کارشناسان ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری استان سمنان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سمنان، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان سمنان، اساتید و دانشجویان در رشته‌های مرتبط با بحث مورد مطالعه، صورت گرفت. همچنین به منظور بررسی نظرات گردشگران در میان چندی از گردشگران نیز پرسش‌نامه توزیع گردید. در نهایت، ۱۶۸ نفر در این نظرسنجی مشارکت نمودند، که از این تعداد ۱۱۷ پرسش‌نامه توسط کارشناسان و متخصصین و ۵۱ پرسش‌نامه توسط گردشگران و بازدیدکنندگان از گنبدهای نمکی استان سمنان تکمیل گردید. دو منطقه‌ی مورد مطالعه در هر بخش از پرسش‌نامه، بر اساس زیرمعیارهای مدل و سطح‌بندی تعریف‌شده‌ی آن (۰-۱)، مورد نظرسنجی و امتیازدهی قرار گرفت. از نظرات کارشناسان و متخصصان برای به دست آوردن ارزش نهایی مدل ارزیابی GAM و M-GAM استفاده گردید.

1. Shapefile (shp)

جدول ۱- معیارهای مدل GAM (Vujičić et al., 2011)

Table 1- GAM model criteria (Vujičić et al., 2011)

ارزش‌های کلی Total value	ارزش‌های جزئی (معیار یا شاخص) Criteria value	زیرمعیار (زیرشاخص) Sub-criteria
۱- ارزش‌های اصلی	۱-۱-۱- ارزش‌های علمی- آموزشی	۱-۱-۱- کمیاب بودن
		۱-۱-۲- نمایان‌گر بودن (نماینده یا نمونه بودن)
		۱-۱-۳- سطح تفسیر و آگاهی
		۱-۱-۴- میزان شناخت و آگاهی از علوم زمین و خود سایت
	۱-۲- ارزش‌های زیبایی و منظره دید	۱-۲-۱- تعداد نقاط دید (نقاط دیدنی)
		۱-۲-۲- سطح ظاهری/ مساحت
		۱-۲-۳- چشم‌انداز و طبیعت اطراف
		۱-۲-۴- تناسب محیطی سایت‌ها
		۱-۳- ارزش‌های حفاظتی
		۱-۳-۱- وضعیت فعلی
	۱-۳-۲- سطح حفاظت	
	۱-۳-۳- سطح آسیب‌پذیری	
	۱-۳-۴- تعداد مناسب بازدیدکنندگان	
۲- ارزش‌های مکمل (اضافی)	۲-۱- ارزش‌های زیرساختی (کارکردی یا عمل‌کردی)	۲-۱-۱- دسترسی
		۲-۱-۲- مقادیر طبیعی اضافی
		۲-۱-۳- مقادیر انسانی اضافی
		۲-۱-۴- مجاورت با مراکز انتشار
		۲-۱-۵- مجاورت با شبکه‌ی ارتباطی مهم
		۲-۱-۶- مقادیر زیرساختی دیگر (اضافی)
	۲-۲- ارزش‌های گردشگری	۲-۲-۱- توسعه
		۲-۲-۲- بازدیدهای سازمان‌یافته (سازمان‌دهی شده)
		۲-۲-۳- مجاورت با مراکز گردشگری
		۲-۲-۴- قالب‌های (پانل‌ها یا تابلوهای) تفسیری و آگاهی
	۲-۲-۵- تعداد بازدیدکنندگان	
	۲-۲-۶- زیرساخت‌های گردشگری	
	۲-۲-۷- سرویس (خدمات) راهنمای تور	
	۲-۲-۸- سرویس‌های شبانه‌روزی (خدمات اقامتی)	
	۲-۲-۹- سرویس (خدمات) رستوران	

گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان ۲ و همچنین برای گنبد‌های نمکی گرمسار ۲/۲۵ می‌باشد (شکل ۳). بنابراین، از حیث ارزش‌های علمی-آموزشی، گنبد‌های نمکی گرمسار نسبت به گنبد‌های نمکی جنوب استان، ارزش بالاتری کسب نموده است. هر دو زمین‌سازه در تمامی زیرمعیارهای ارزش‌های علمی-آموزشی، از امتیاز یکسانی برخوردارند، به غیر از زیرمعیار «میزان شناخت و آگاهی از علوم زمین و زمین‌سازه» که در آن زمین‌سازه گنبد‌های نمکی گرمسار، ارزش بالاتری دارد و می‌توان گفت گنبد‌های گرمسار نسبت به گنبد‌های جنوب استان شناخته‌شده‌تر هستند.

در تحقیق پیش‌رو، به منظور کوتاه و مختصر شدن اصطلاحات، از حروف انگلیسی استفاده شده است، که شرح آن در جدول (۲) آمده است. GS1 و GS2، به ترتیب، زمین‌سازه (گنبد‌های نمکی) جنوب استان سمنان و شهرستان گرمسار می‌باشند.

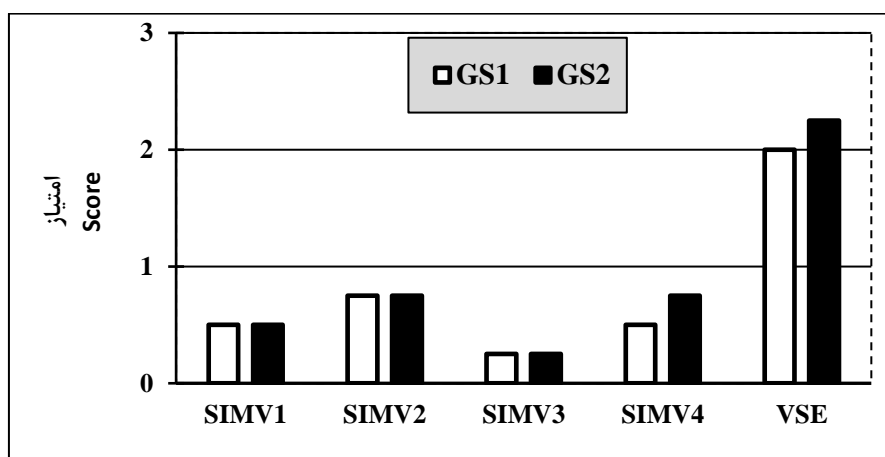
نتایج

ارزیابی ارزش‌های علمی-آموزشی به روش GAM

نتایج ارزیابی ارزش‌های علمی-آموزشی به روش GAM در شکل ۳ حاکی از آن است، که امتیاز ارزش‌های علمی-آموزشی به روش GAM، برای

جدول ۲- اختصارات به کار رفته در پژوهش
Table 2- Abbreviations used in the study

توضیحات Explain	اختصار Abbreviation	توضیحات Explain	اختصار Abbreviation
ارزش‌های علمی- آموزشی	VSE	زمین‌سازه (گنبد‌های نمکی) جنوب استان سمنان	GS1
ارزش‌های زیبایی و منظره‌ی دید	VSA	زمین‌سازه (گنبد‌های نمکی) شهرستان گرمسار	GS2
ارزش‌های حفاظتی	VPr	1	A
ارزش‌های مکمل (اضافی)	AV	0.75	B
ارزش‌های زیرساختی (کارکردی)	VFn	0.5	C
ارزش‌های گردشگری	VTr	0.25	D
زیرمعیارهای ارزش‌های اصلی	SIMV	0	E
زیرمعیارهای ارزش‌های مکمل (اضافی)	SIAV	ارزش‌های اصلی	MV



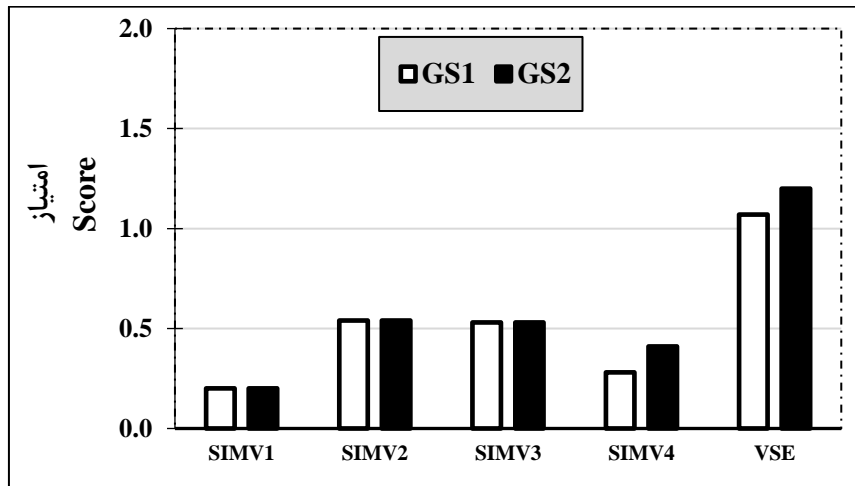
شکل ۳- مقایسه زیرمعیارها و مقادیر علمی- آموزشی دو زمین‌سازه با استفاده از روش GAM
(بر اساس نظرات کارشناسان)

Figure 2- Comparison of sub-criteria and scientific-educational values of two geomorphosites using GAM method (based on experts' opinions)

به گنبد‌های جنوب استان دارد. علت این امر نیز همچون روش قبلی بالا بودن امتیاز زیرمعیار «میزان شناخت و آگاهی از علوم زمین و زمین‌سازه» در گنبد‌های گرمسار است. میزان امتیازات حاصل از روش M-GAM نسبت به امتیازات حاصل از مدل GAM پایین‌تر است، به این علت که مقادیر حاصل از مدل M-GAM قطعاً کمتر یا مساوی با مقادیر مدل GAM است. شکل ۴، به مقایسه‌ی زیرمعیارهای ارزش‌های علمی- آموزشی به روش M-GAM می‌پردازد.

نتایج ارزیابی ارزش‌های علمی- آموزشی به روش M-GAM

طبق نتایج شکل ۴، امتیاز ارزش‌های علمی- آموزشی بر اساس مدل ارزیابی M-GAM برای زمین‌سازه گنبد‌های نمکی جنوب استان ۱/۰۷ و برای گنبد‌های نمکی گرمسار ۱/۲۰ به دست آمد. بالا بودن امتیاز این ارزش جزئی برای گنبد‌های نمکی گرمسار نشان از بالا بودن ارزش علمی- آموزشی گنبد‌های گرمسار نسبت



شکل ۴- مقایسه‌ی زیرمعیارها و ارزش‌های علمی- آموزشی دو زمین‌سازه به روش M-GAM (بر اساس نظرات کارشناسان و گردشگران)

Figure 3 - Comparison of sub-criteria and scientific-educational values of two geomorphosites by M-GAM method (based on the opinions of experts and tourists)

می‌توان زمین‌سازه‌ها را از منظر ارزش‌های علمی، حفاظتی و گردشگری اولویت‌بندی نموده تا برنامه‌ریزی و کاربری زمین‌گردشگری هر زمین‌سازه مشخص گردد. اولویت‌بندی دو زمین‌سازه در جدول ۷ آورده شده است. لذا، در بخش ارزش‌های علمی گنبد‌های نمکی گرمسار به دلیل بالا بودن امتیاز "ارزش میزان شناخت و آگاهی از علوم زمین و خود سایت" نسبت به سایت جنوب استان سمنان رتبه‌ی اول را کسب نموده است. در بخش ارزش‌های حفاظتی گنبد‌های نمکی جنوب استان به دلیل برتری ارزش "وضعیت فعلی" و "تعداد مناسب بازدیدکنندگان" نسبت به سایت گرمسار رتبه‌ی اول را کسب نموده است. در بخش ارزش‌های گردشگری گنبد‌های گرمسار به سبب دارا بودن شرایط بهتری از نظر ارزش "تعداد نقاط دیدنی"، "چشم‌انداز و طبیعت اطراف"، "دسترسی"، "مقادیر انسانی اضافی"، "مجاورت با مراکز انتشار"، "مجاورت با شبکه‌ی ارتباطی مهم"، "مقادیر زیرساختی"، "توسعه"، "بازدیدهای سازمان‌یافته"، "مجاورت با مراکز گردشگری"، "زیرساخت‌های گردشگری"، "خدمات راهنمای تور"، "خدمات اقامتی" و "خدمات رستوران" نسبت به سایت جنوب استان رتبه‌ی اول را از آن خود کرده است.

رتبه‌بندی ارزش‌های گنبد‌های نمکی استان

سمنان به روش GAM

طبق جدول ۳، برای گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان، میانگین ارزش‌های اصلی ۰/۵۸ و ارزش‌های مکمل ۰/۲۵ به دست آمده‌اند، که نشان می‌دهد ارزش‌های اصلی این گنبد‌ها نسبت به ارزش‌های مکمل وضعیت بهتری دارند. ارزش‌های اصلی و مکمل گنبد‌های نمکی گرمسار به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۴۵ است، که بیانگر وضعیت تقریباً برابر ارزش‌های کلی این زمین‌سازه می‌باشد. همچنین در این جدول، میانگین ارزش نهایی مدل GAM برای گنبد‌های نمکی جنوب استان، ۰/۴۱ و برای گنبد‌های نمکی گرمسار ۰/۵ است. این مقادیر برای ارزش نهایی دو زمین‌سازه نشان می‌دهد، که در وضعیت تقریباً برابری قرار دارند، با برتری اندک گنبد‌های گرمسار بر گنبد‌های جنوب استان. جداول ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ به ترتیب به رتبه‌بندی زمین‌سازه‌ها بر اساس ارزش‌های جزئی (علمی- آموزشی، زیبایی و منظره‌ی دید و حفاظتی) و ارزش‌های اصلی، ارزش‌های مکمل و در نهایت ارزش‌های نهایی مدل GAM، می‌پردازند. با ترکیب ارزش‌های جزئی و زیرمعیارهای مدل،

جدول ۳- مجموع و میانگین ارزش‌های کلی مدل GAM برای هر دو زمین‌سازه
Table 3- Total and average values of GAM model for both geomorphosites

ارزش‌های مدل GAM				
GS _۲		GS _۱		
مجموع	میانگین	مجموع	میانگین	
6.75	0.56	7	0.58	ارزش‌های اصلی
6.5	0.45	3.5	0.25	ارزش‌های مکمل
13.25	0.5	10.5	0.41	ارزش نهایی GAM

جدول ۴- رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های اصلی روش GAM
Table 4- Ranking of two geomorphosites based on the main values of the GAM method

رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های اصلی روش GAM								
ارزش‌های اصلی		حفاظتی		زیبایی و منظره‌ی دید		علمی-آموزشی		
رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	
1	7	1	2.25	1	2.75	2	2	گنبد‌های نمکی گرمسار
2	6.75	2	1.75	2	2.25	1	2.25	گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان

جدول ۵- رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های مکمل روش GAM
Table 5- Ranking of two geomorphosites based on complementary values of GAM method

رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های مکمل روش GAM						
ارزش‌های مکمل		ارزش‌های گردشگری		ارزش‌های زیرساختی		
رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	
1	6.5	1	3.25	1	3.25	گنبد‌های نمکی گرمسار
2	3.5	2	1.5	2	2	گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان

جدول ۶- رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش نهایی روش GAM
Table 6- Ranking of two geomorphosites based on the final value of the GAM method

رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش نهایی روش GAM		
رتبه	میزان ارزش	زمین‌سازه
1	13.25	گنبد‌های نمکی گرمسار
2	10.5	گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان

جدول ۷- رتبه‌بندی نهایی دو زمین‌سازه بر اساس سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری (زیبایی و منظره‌ی دید، زیرساختی و گردشگری) با استفاده از روش GAM

Table 7- The final ranking of two geomorphosites based on three scientific, conservation and tourism values (aesthetic and scenery, infrastructure and tourism) using the GAM method

رتبه‌بندی نهایی دو زمین‌سازه بر اساس سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری روش GAM									
ارزش‌های گردشگری			ارزش‌های حفاظتی			ارزش‌های علمی			زمین‌سازه
رتبه	میانگین	میزان ارزش	رتبه	میانگین	میزان ارزش	رتبه	میانگین	میزان ارزش	
2	0.33	6	1	0.56	2.25	2	0.45	2.25	GS _۱
1	0.55	9	2	0.44	1.75	1	0.5	2.50	GS _۲

رتبه‌بندی ارزش‌های گنبد‌های نمکی استان

سمنان به روش M-GAM

ارزش‌های کلی حاصل از روش M-GAM برای دو زمین‌سازه می‌باشد. رتبه‌بندی گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان و گرمسار از منظر ارزش‌های اصلی، مکمل و ارزش نهایی M-GAM، به ترتیب در جداول ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ بیان شده است. طبق جدول ۸، میانگین ارزش نهایی مدل M-GAM برای گنبد‌های نمکی جنوب استان، ۰/۲۲ و برای گنبد‌های نمکی گرمسار ۰/۲۵ است. این مقادیر برای ارزش نهایی دو زمین‌سازه

نشان می‌دهد، که در وضعیت تقریباً برابری قرار دارند، با برتری اندک گنبد‌های گرمسار بر گنبد‌های جنوب استان. در بخش ارزش‌های علمی، گنبد‌های نمکی گرمسار رتبه‌ی اول و در بخش ارزش‌های حفاظتی، گنبد‌های جنوب استان سمنان رتبه‌ی اول و در بخش ارزش‌های گردشگری، گنبد‌های نمکی گرمسار رتبه‌ی اول را کسب نموده‌اند. در نهایت بر اساس ارزش نهایی مدل M-GAM برای دو زمین‌سازه، همچون مدل قبلی گنبد‌های نمکی گرمسار در رتبه‌ی اول و گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان در رتبه‌ی دوم قرار گرفت.

جدول ۸- مجموع و میانگین ارزش‌های کلی مدل M-GAM برای هر دو زمین‌سازه

Table 8- Total and average values of M-GAM model for both geomorphosites

ارزش‌های مدل M-GAM				
GS _r		GS _s		
میانگین	مجموع	میانگین	مجموع	
0.32	3.84	0.34	4.09	ارزش‌های اصلی
0.18	2.77	0.11	1.57	ارزش‌های مکمل
0.25	6.61	0.22	5.66	ارزش نهایی M-GAM

جدول ۹- رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های اصلی روش M-GAM

Table 9- Ranking of two geomorphosites based on the main values of the M-GAM method

رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های اصلی روش M-GAM								
ارزش‌های اصلی		حفاظتی		زیبایی و منظره‌ی دید		علمی-آموزشی		
رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	
1	4.09	1	1.11	1	1.91	2	1.07	گنبد‌های نمکی گرمسار
2	3.84	2	0.83	2	1.81	1	1.20	گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان

جدول ۱۰- رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های مکمل روش M-GAM

Table 10- Ranking of two geomorphosites based on complementary values of M-GAM method

رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش‌های مکمل روش M-GAM						
ارزش‌های مکمل		ارزش‌های گردشگری		ارزش‌های زیرساختی		
رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	رتبه	میزان ارزش	
2	1.57	2	0.54	2	1.03	گنبد‌های نمکی گرمسار
1	2.77	1	1.12	1	1.65	گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان

جدول ۱۱- رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش نهایی روش M-GAM

Table 11- Ranking of two geomorphosites based on the final value of the M-GAM method

رتبه‌بندی دو زمین‌سازه بر اساس ارزش نهایی روش M-GAM		
رتبه	میزان ارزش	زمین‌سازه
1	6.61	گنبد‌های نمکی گرمسار
2	5.66	گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان

جدول ۱۲- رتبه‌بندی نهایی دو زمین‌سازه بر اساس سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری (زیبایی و منظره‌ی دید،

زیرساختی و گردشگری) با استفاده از روش M-GAM

Table 12- Final ranking of two geomorphosite based on three scientific, conservation and tourism values (aesthetic and scenery, infrastructure and tourism) using M-GAM method

رتبه‌بندی نهایی دو زمین‌سازه بر اساس سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری روش M-GAM									
ارزش‌های علمی			ارزش‌های حفاظتی			ارزش‌های گردشگری			
میزان ارزش	میانگین	رتبه	میزان ارزش	میانگین	رتبه	میزان ارزش	میانگین	رتبه	زمین‌سازه
1.14	0.23	2	1.11	0.28	1	3.41	0.19	2	GS _۱
1.27	0.25	1	0.83	0.21	2	4.51	0.25	1	GS _۲

بحث

به دلیل توجه بیش‌تر به گنبد‌های نمکی جنوب و غرب کشور و اهمیت این گنبد‌ها از لحاظ ذخایر نفتی و سایر منابع اقتصادی، نسبت به دیگر گنبد‌های نمکی موجود در سطح کشور، از جمله گنبد‌های نمکی استان سمنان توجه کمتری شده است. با توجه به اینکه هدف این تحقیق، شناسایی گنبد‌های نمکی دارای قابلیت تبدیل به یک ژئومورفوسایت و تعیین میزان ارزش‌گذاری آنها با استفاده از مدل‌های GAM و M-GAM می‌باشد، از این رو، در ادامه، نتایج تحقیق حاضر با نتایج دیگر محققان در این خصوص مورد مقایسه و بحث قرار می‌گیرد.

در تحقیق حاضر، طبق بررسی‌ها و نتایج، گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان و گرمسار، شاخص‌ترین گنبد‌های نمکی استان به لحاظ تنوع و زیبایی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی، از جاذبه‌های گردشگری برخوردارند. ارزش نهایی گنبد‌های نمکی جنوب استان و گرمسار در مدل GAM به ترتیب ۱۰/۵ و ۱۳/۲۵ است و نیز ارزش نهایی به دست آمده در مدل M-GAM برای هر دو زمین‌سازه به ترتیب، ۵/۶۶ و ۶/۶۱ می‌باشد. در هر دو مدل GAM و M-GAM، در بخش ارزش‌های علمی و ارزش‌های گردشگری، گنبد‌های نمکی گرمسار و در بخش ارزش‌های حفاظتی، گنبد‌های نمکی جنوب استان در رتبه‌ی اول قرار گرفت، که با نتایج Veisi و Ahmadi (۲۰۲۱) در خصوص مطالعه زمین‌سازهای کارستی استان کرمانشاه با مدل GAM و M-GAM و همچنین نتایج

Darabi و Rastegar (۲۰۲۳) در منطقه فیروزآباد مطابقت دارد. آنها به این نتیجه رسیدند، که زمین‌سازها از ارزش علمی/آموزشی و زیبایی‌شناختی تقریباً مناسبی برخوردارند، اما به لحاظ ارزش‌های گردشگری زمین‌سازهای منطقه مورد مطالعه وضعیت مطلوبی ندارند و نیازمند ارتقای گردشگری پایدار هستند. گنبد‌های نمکی گرمسار به دلیل شناخته‌شده‌تر بودن نسبت به گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان، در ارزش‌های علمی امتیاز بهتری کسب نموده‌اند. گنبد‌های نمکی جنوب استان به دلیل دسترسی نامناسب، میزان شناخت و آگاهی از آن بسیار کم است. مهم‌ترین دلیل برتری گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان در بخش ارزش‌های حفاظتی و پایین بودن ارزش‌های علمی و گردشگری آن، به سبب دسترسی نامناسب به گنبد‌های نمکی جنوب استان است. نبود جاده‌های مناسب جهت تردد وسایط نقلیه، وجود منطقه‌ی نظامی در جنوب استان و روند طولانی دریافت مجوز جهت ورود به منطقه از دلایل اصلی عدم دسترسی مناسب به گنبد‌های نمکی جنوب استان است. با بررسی نتایج این تحقیق و دیگر پژوهش‌ها می‌توان گفت، که اکثر زمین‌سازها در زمینه‌ی ارزش‌های اصلی (علمی - آموزشی، زیبایی و منظره‌ی دید و اغلب حفاظتی) از ارزش بالایی برخوردارند و در بخش ارزش‌های مکمل و زیرساختی، ارزش پایینی دارند (Vujičić et al., 2011; Aarbaby Sabzevari, 2013; Asghari Saraskanroud et al., 2024). دلایل اصلی مطرح‌شده توسط محققان در خصوص پایین بودن

درمحمدی و همکاران

ارزش‌های مکمل و زیرساختی، عمدتاً به نبودن مسیرهای مناسب دسترسی، عدم وجود بازدیدهای سازمان‌یافته، سرویس (خدمات) راهنمای تور، سرویس (خدمات) رستوران، سرویس‌های شبانه‌روزی (خدمات اقامتی)، قالب‌های (پانل‌ها یا تابلوهای) تفسیری و آگاهی می‌باشد، که در مورد تحقیق حاضر نیز مشهود می‌باشد. اما در تحقیق Višnić و Began (۲۰۱۵) میزان ارزش بخش زیرساختی و مکمل به دلیل مهیابودن شرایط در منطقه جنوبی صربستان و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، تقریباً بالا بود. در خصوص دلایل بالابودن ارزش‌های اصلی (علمی-آموزشی، زیبایی و منظره‌ی دید و اغلب حفاظتی) توسط محققان مذکور نیز می‌توان به کمیاب و نمونه بودن، سطح ظاهری و مساحت، وضعیت فعلی، تناسب محیطی مناطق مورد مطالعه، تعداد نقاط دیدنی، سطح آسیب‌پذیری، تعداد مناسب بازدیدکنندگان، میزان شناخت و آگاهی از علوم زمین و خود مناطق مورد بررسی، سطح تفسیر و آگاهی اشاره نمود، که با تحقیق حاضر نیز همخوانی دارد (Salmani et al., 2015; Višnić et al., 2016; Elkaichi et al., 2024).

نتیجه‌گیری کلی

هدف از این روش درک این مطلب است، که کدام زیرمعیار، تاثیر قابل توجهی در نظرات گردشگران نسبت به زمین‌سازها و نهایتاً بخش‌های مختلف اقتصاد و بازار دارد. با توجه به موارد بحث شده در قسمت قبلی، می‌توان نتیجه گرفت، که اکثر زمین‌سازها در زمینه‌ی ارزش‌های اصلی از ارزش

بالایی برخوردارند و در بخش ارزش‌های مکمل و زیرساختی، ارزش پایینی دارند. دیگر اینکه، با استفاده از روش GAM و M-GAM به صورت توأمان می‌توان به بررسی بهتر زمین‌سازها پرداخت. از آنجا که زمین‌سازها ارتباطی تنگاتنگ با سه ارزش علمی، حفاظتی و گردشگری دارند، ۲۷ زیرمعیار به صورت ارزش‌های علمی، حفاظتی و گردشگری تقسیم و دسته‌بندی گردید. ترکیب جدید می‌تواند به برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی زمین‌گردشگری کمک شایانی نماید. مهم‌ترین دلیل برتری گنبد‌های نمکی جنوب استان سمنان در بخش ارزش‌های حفاظتی و پایین بودن ارزش‌های علمی و گردشگری آن، به سبب دسترسی نامناسب به گنبد‌های نمکی جنوب استان است. نبود جاده‌های مناسب جهت تردد و وسایط نقلیه، وجود منطقه‌ی نظامی در جنوب استان و روند طولانی دریافت مجوز جهت ورود به منطقه از دلایل اصلی عدم دسترسی مناسب به گنبد‌های نمکی جنوب استان است. عدم دسترسی مناسب می‌تواند تنگناهایی ایجاد کند. از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد: عدم وجود زیرساخت‌های مناسب، عدم وجود اماکن اقامتی، عدم وجود خدمات رستوران، عدم شناخت مردم از وجود گنبد‌های نمکی جنوب استان و غیره. از این رو، توجه و رسیدگی به موضوع دسترسی به گنبد‌های نمکی جنوب استان و استفاده‌ی مناسب از ظرفیت این موهبت الهی، اهمیت زیادی دارد. در صورت رفع مشکل دسترسی و ایجاد زیرساخت‌های جاده‌ای جهت دسترسی مناسب به گنبد‌های جنوب استان، موانع دیگر راحت‌تر برداشته می‌شوند.

References

- Aaraby Sabzevari, A. (2013). Assessment of Geotourism Capabilities and Potentials in Sustainable Development (Case study: Darband Pond in Sahneh City). *Natural Geography Quarterly*, 7 (26), 65-86. (In Persian)
- Asghari Saraskanroud, S., Khushkho, P. & Mandari J. (2024). Evaluation of geotourism potential of geosites in

Babelroud basin using M GAM model. *Geographical Quarterly Journal of Tourism Space*. 48 (12). 95-118. <https://doi.org/20.1001.1.23223294.1389.5.13.2.2> (In Persian)

- Began, M. & Višnić, T. (2015). Geotourism in the Nisava River Midstream Valley, Southeastern Serbia—Current State and Issues of Future. Development. *Revista Geográfica Acadêmica*, 9(2), 94-106.

- Božić, S., Tomić, N. & Pavić, D. (2015). Canyons as potential geotourism attractions of Serbia-comparative analysis of Lazar and Uvac canyons by using M-GAM model. *Acta Geoturistica*, 5(2), 18-30.
- Bračić, M., Marjanović, M., Radivojević, A.R. & Pavlović, M. (2020). M-GAM method in function of tourism potential assessment: Case study of the Sokobanja basin in eastern Serbia. *Open Geosciences*. 12 (1), 1468-1485. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0116>
- Carrión-Mero, P., Sánchez-Zambrano, E., Mata-Perelló, G., Jaya-Montalvo, M., Herrera-Franco, G., Berrezueta, E., Espinel, R., Baque, M. & Morante-Carballo, F. (2024). Geosites assessment in a volcanic hotspot environment and its impact on geotourism, Santa Cruz-Galapagos Islands, Ecuador. *International Journal of Geoheritage and Parks*. 147-167. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.01.006>
- Edina, H., Gáspár A., & Márton P. (2022). Geotourism assessment of the northwestern part of the Gerecse Mountains, Hungary. *EGU General Assembly*. EGU22-343. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-343>
- Elkaichi, A., Errami, E. & Patel, N. (2024). Canyons as potential geotourism attractions of central High Atlas, Morocco: Comparative analysis of Aït Bouguemaz valley and Zaouiat Ahnsal-Taghia valley by using GAM model. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 12 (1), 20-36. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.01.001>
- Kubalíková, L. & Kirchner, K. (2016). Geosite and geomorphosite assessment as a tool for geoconservation and geotourism purposes: a case study from Vizovická Vrchovina highland (eastern part of the Czech Republic). *Geoheritage*, 8(1), 5-14. <https://doi.org/10.1007/s12371-015-0143-2>
- Maghsoudi, M., Alizadeh, M., Rahimi Harabadi, S. & Hedai Arani, M. (2011). Capability Assessment of Tourism Geomorphosites in Kavir National Park. *Scientific-Research Quarterly of Tourism Management Studies*, 7(19), 49-68. <https://doi.org/20.1001.1.23223294.1391.7.19.3.9> (In Persian)
- Mousavi, S.H. (2011). The phenomenon of salt diapirism and its effect on the pollution of water sources with emphasis on Iran. *Sepehr Geographical Information Magazine*, 21 (84), 70-76. <https://doi.org/20.1001.1.25883860.1391.21.841.16.8> (In Persian)
- Nikandish, N. & Sangri, H. (2011). Evaluation and qualification of geomorphosites of Bushehr city using Pralong model. *The first national conference of Iranzamin tourism and nature tourism, Hamedan, Hamandishan Farda Environment University*. (In Persian)
- Nohegar, A., Rusta, H., Riahi, S. & Ahmadi Kohanali, J. (2012). Investigating the comfort of the climate for visiting geosites (case study: Qeshm salt cave). *The second national conference on tourism and nature tourism in Iran, Hamadan, Farda Environment Co*. (In Persian)
- Pazki, M. & Sheikhi, D. (2015). Geomorphotourism and qualification of road geomorphosite using the combined method of TOPSIS and Pralong (Case Study: Garmsar Transit Road). *Geografia (scientific-research and international quarterly of the Iranian Geography Association)*, 14(49), 317-336. (In Persian)
- Ghanavati E.A. & Rayati Shavvazi, M. (2015). Evaluating the Capabilities of Tourism Geomorphosites (Case Study: Taft). 4 (14). 193-212. (In Persian)
- Paknahad, Z. & Kayani, L. (2012). Explaining the geotourism capabilities of salt domes with an emphasis on Iran. *The first national conference on sustainable tourism, geography and environment, Hamedan, Hegmatane Environmental Assessor Association*.
- Pelfini, M. & Bollati, I. (2014). Landforms and geomorphosites ongoing changes: Concepts and implications for geoheritage promotion. *Quaestiones geographicae*, 33(1), 131-143. <http://doi.org/10.2478/quageo-2014-0009>
- Rastegar, E. & Darabi, H. (2023). Quantitative Evaluation of Geotourism potential in Firuzabad Geomorph sites: An opportunity for regional sustainable development, *Quantitative geomorphology research*, 120-143.

- <https://doi.org/10.22034/GMPJ.2022.365255.1382> (In Persian)
- Salmani, M., Faraji Sokhbar, H. A., Nazimi, M. & Oroji, H. (2015). Evaluation of the Capabilities and Uses of Geomorphosites (Case Study: Geomorphosites of Tabas County). *Human Geography Research*, 47(1), 177-192. <https://doi.org/10.22059/JHGR.2015.51284> (In Persian)
- Shayan, S., Zare, G. R., Sharifikia, M. & Amiri, Sh. (2013). Evaluation of Tourism Capability of Geomorphologic Landforms (Case Study: Kersia - Darab Olain Salt dome). *Quantitative Geomorphology Researches*, 1 (4), 119-132. <https://doi.org/20.1001.1.22519424.1392.1.4.8.0.11> (In Persian)
- Šuleic, M. & Pavic, D. (2016). Gorges as potential geotourism attractions of Serbia-comparative analysis of Ovčarsko-Kablarska Gorge and Grdelička Gorge by using M-GAM Model. *Acta Geoturistica*, 7(1), 10-20.
- Taherkhani M. (2019). Evaluating the Geotourism capabilities of Eastern Alamut area based on GAM model. *Iranian journal of tourism and hospitality research*. 6 (4). 15-23. <https://doi.org/20.1001.1.20089562.2019.6.4.2.7> (In Persian)
- Tomić, N. & Božić, S. (2015). A modified geosite assessment model (M-GAM) and its application on the Lazar Canyon area (Serbia). *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1041-1052. <https://doi.org/10.22059/ijer.2014.798>
- Valjarević, A., Vukočić, D. & Valjarević, D. (2017). Evaluation of the tourist potential and natural attractivity of the Lukovska Spa. *Tourism Management Perspectives*, 22, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.12.004>
- Veisi, A. & Ahmadi, A. (2021). Comparative Study of Karst Geomorphosites in Kermanshah Province Using Gam and M-Gam Models. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*. 1(4), 33-50. <http://doi.org/10.29252/gsma.1.4.33> (In Persian)
- Višnić, T., Spasojević, B. & Vujičić, M. (2016). The Potential for Geotourism Development on the Srem Loess Plateau Based on a Preliminary Geosite Assessment Model (GAM). *Geoheritage*, 8(2), 173-180. <http://doi.org/10.1007/s12371-015-0149-9>
- Vujičić, M. D., Vasiljević, D. A., Marković, S. B., Hose, T. A., Lukić, T., Hadžić, O. & Janičević, S. (2011). Preliminary geosite assessment model (GAM) and its application on Fruška Gora Mountain, potential geotourism destination of Serbia. *Acta geographica Slovenica*, 51(2), 361-376. <https://doi.org/10.3986/AGS51303>
- Zangiabadi, Z. (2016). An assessment of Geo-Sites Using Fasilous and Nicholas Method (Case Study: Villages of Chahardangeh, City of Sari). *Journal of Rural Research*, 7(2), 300-315. (In Persian)
- Zomorrodian, M.J. (2012). *Geomorphology of Iran*. Volume 1, second edition, Mashhad, Ferdowsi University Press. <http://doi.org/10.21859/ijr-07023> (In Persian)

Waste disposal site location allocation using GIS and fuzzy overlay method (Case study: Birjand county)

Abbasali Rezapour^{1*}, Saeid Deymevar²

1- Department of Civil Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

2- Department of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

* Corresponding author: abbas.rezapoor@birjandut.ac.ir

(Received: 05 March 2024

Revised: 22 April 2024

Accepted: 06 Jun 2024)

Extended Abstract

Introduction: With the increase in population and the growth of industry and agriculture, the production of various types of human, industrial, and agricultural waste also increases. Improper disposal of waste can lead to environmental pollution and contamination of water resources. One common method of waste disposal is landfilling. A significant challenge of this method is finding a suitable location for the landfill, as the selection of an appropriate site depends on various criteria and factors. The use of Geographic Information Systems (GIS) and multi-criteria decision-making methods are effective and efficient tools for addressing this challenge. The aim of this study is to use GIS and fuzzy overlay methods to locate suitable landfill sites for municipal and industrial waste in Birjand. For the first time, this research uses spatial data layers for aquifer recharge areas, protective zones of drinking water wells, qanats, and springs in South Khorasan Province.

Materials and methods: This study combines GIS and fuzzy overlay functions to locate suitable landfill sites for municipal and industrial waste in Birjand County. The study area is Birjand, the capital of South Khorasan Province. The fuzzy overlay method utilizes a range of values between 0 and 1 to express the degree or value of set members. The study incorporates various criteria, including environmental, geological, infrastructural, and water resource factors, each comprising multiple sub-criteria. After preparing the necessary data in shapefile format, the Euclidean distance method in ArcMap software was used to create distance layers for each data point. These distance layers were then standardized using fuzzy logic through Python code. The fuzzy standardization of these layers was based on the technical evaluation guidelines for the disposal of ordinary and special waste provided by the Environmental Protection Organization. Finally, using the prepared fuzzy layers and fuzzy overlay functions including AND, OR, SUM, PRODUCT, and GAMMA, the final layer of suitable sites for municipal and industrial waste disposal was created.

Results and Discussion: The results of the overlay operation indicate that the OR and SUM functions did not yield satisfactory results for fuzzy decision-making. The results of the AND, PRODUCT, and GAMMA functions were classified into five categories based on the environmental and water resource risks associated with waste disposal in each area: very high, high, moderate, low, and very low risk. The results indicated that the area with very high risk for waste disposal was the same across all functions. The AND function provided the smallest area for low and very low-risk zones, whereas the GAMMA function provided the largest area for these zones. The results suggest that if the GAMMA function's power is chosen between 0 and 1, the results will be a combination of the AND and OR functions.

Conclusion: Considering the need to place landfill sites near waste production sources to mitigate costs and ownership challenges, it was found that the GAMMA function provides the most suitable results for locating landfill sites for ordinary and special waste in Birjand. According to the results of this function, 3535.982 km² of Birjand County's area (about 88%) is a prohibited zone for municipal and ordinary waste disposal, and 3670.934 km² (about 92%) is a prohibited zone for industrial and special waste disposal. The remaining area, 368.7 km² for municipal and ordinary waste and 233.7 km² for industrial and special waste, is suitable for landfill site selection. It was also found that the current municipal waste landfill site in Birjand County is located in a prohibited zone. Therefore it is necessary to relocate it and select a new site based on the results of this study as soon as possible.

Keywords: Landfill site selection, Ordinary and special waste, Geographic Information Systems, fuzzy logic, Birjand County.

Citation: Rezapour, A. & Deymevar, S. (2024). Waste Disposal Site Location Allocation Using Geographic Information System (GIS) and Fuzzy Overlay Method (Case Study: Birjand County). *Integrated Watershed Management*, 4(3), 83-104. doi= 10.22034/iwm.2024.2024112.1140

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>).



مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش

همپوشانی فازی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند)

عباسعلی رضاپور^{۱*}، سعید دیمه^۲

۱- گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: abbas.rezapoor@birjandut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

چکیده مبسوط

مقدمه: به موازات افزایش جمعیت و رشد صنعت و کشاورزی، میزان تولید انواع پسماندهای انسانی، صنعتی و کشاورزی نیز افزایش می‌یابد. در صورتی که پسماندها به درستی دفع نشود موجب آلودگی محیط‌زیست و منابع آب می‌شود. یکی از روش‌های متداول دفع پسماند دفن آن در زباله‌گاه است. از جمله چالش‌های اساسی این روش پیدا کردن یک محل مناسب برای دفن پسماند است؛ زیرا انتخاب محل مناسب برای دفن پسماندها به معیارها و عوامل مختلفی وابسته است. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری ابزاری موثر و کارآمد برای مواجهه با این چالش است. هدف از انجام این پژوهش استفاده از GIS و روش همپوشانی فازی برای مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه شهرستان بیرجند است. در این پژوهش برای اولین بار از لایه‌های اطلاعاتی (داده‌های مکانی) مناطق تغذیه‌کننده آبخوان، حریم‌های نقطه‌ای چاه‌های آب شرب و مادر، مظهر و میله‌های قنات‌ها و چشمه‌ها در استان خراسان جنوبی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه با ترکیب GIS و توابع همپوشانی فازی پرداخته شد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی می‌باشد. در روش همپوشانی فازی، بازه‌ای از مقادیر بین صفر و یک می‌توانند برای بیان درجه یا میزان ارزش اعضای یک مجموعه مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش از معیارهای محیط‌زیستی، زمین‌شناسی، زیرساختی و منابع آبی که هر کدام شامل چندین زیرمعیار است استفاده شد. پس از تهیه داده‌های موردنیاز در فرمت شیپ فایل، لایه فاصله از عارضه با استفاده از روش فاصله اقلیدوسی (Euclidean distance) در نرم‌افزار ArcMap برای هر یک از این داده‌ها ساخته شد. سپس با استفاده از کدنویسی در محیط پایتون، لایه‌های فاصله از عارضه به صورت فازی استانداردسازی شدند. مبنای فازی‌سازی این لایه‌ها قوانین و ضوابط مطرح شده در دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه سازمان محیط‌زیست بود. در نهایت با استفاده از لایه‌های فازی آماده شده و توابع همپوشانی فازی شامل OR, AND, PRODUCT, SUM و GAMMA لایه نهایی مکان‌های مناسب دفع پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه ساخته شد.

نتایج و بحث: عملیات همپوشانی نشان داد توابع OR و SUM نتایج مناسبی برای تصمیم‌گیری فازی ارائه نمی‌دهند. نتایج توابع AND, PRODUCT و GAMMA بر اساس میزان خطر دفن پسماند در هر منطقه برای محیط‌زیست و منابع آب به پنج طبقه شامل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شد. بر این اساس مساحت مناطق با خطر دفن بسیار زیاد در همه توابع یکسان بود. تابع AND کمترین مساحت را برای مناطق با خطر دفن کم و خیلی کم داشت و در مقابل از تابع GAMMA بیشترین مساحت برای مناطق با خطر دفن کم و خیلی کم حاصل شد. با توجه به نتایج مشخص گردید اگر مقدار تابع GAMMA بین ۱ و صفر انتخاب شود، نتایج ترکیبی از توابع AND و OR خواهد بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج بدست آمده و با توجه به لزوم نزدیک بودن محل دفن پسماند، به محل تولید آن جهت کاهش هزینه و همچنین کمتر شدن چالش‌های مربوط به نوع مالکیت اراضی، مشخص گردید تابع GAMMA نتایج مناسب‌تری برای مکان‌یابی محل دفن پسماندهای عادی و ویژه شهرستان بیرجند ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج این تابع ۳۵۳۵/۹۸۲ کیلومترمربع از مساحت شهرستان بیرجند (حدود ۸۸ درصد)، منطقه ممنوعه برای دفن پسماندهای شهری و عادی و ۳۶۷۰/۹۳۴ کیلومترمربع از مساحت شهرستان (حدود ۹۲ درصد)، منطقه ممنوعه برای دفن پسماندهای صنعتی و ویژه است. مابقی مساحت شهرستان یعنی ۳۶۸/۷ کیلومترمربع برای پسماندهای شهری و عادی و ۲۳۳/۷ کیلومترمربع برای پسماندهای صنعتی و ویژه جهت انتخاب محل دفن پسماند، مناسب است. همچنین مشخص گردید مکان فعلی دفن پسماندهای شهری و عادی شهرستان بیرجند در ناحیه ممنوعه قرار داشته و لازم است مطابق با نتایج این پژوهش در اسرع وقت جابجا و مکان جدیدی برای آن انتخاب شود.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی دفن پسماند، پسماند عادی و ویژه، سامانه اطلاعات جغرافیایی، منطق فازی، شهرستان بیرجند

استناد: رضاپور، ع؛ و دیمه‌ور، س. (۱۴۰۳). مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۳)، ۸۳-۱۰۴.

حق چاپ:



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

مقدمه

یکی از فاکتورهای مهم و اساسی در توسعه و پیشرفت هر کشوری، داشتن جمعیت جوان و سالم در آن کشور است. از این‌رو کشورها برای رشد جمعیت خود برنامه‌های متنوعی را اجرا می‌کنند. در کشور ایران نیز به‌خصوص در مناطق مرزی که مسئله حفظ و امنیت مرزها مطرح است، رشد جمعیت از اهمیت بیشتری برخوردار است. توسعه زیرساخت‌ها به خصوص در بخش‌های اقتصادی، صنعتی، رفاهی و کشاورزی، تامین آب موردنیاز و حفظ محیط‌زیست از جمله ملزومات اساسی و مهم برای رشد جمعیت می‌باشد (Godarzi & Hajiani, 2023). افزایش جمعیت و رشد صنعت و کشاورزی با همه مزایایی که دارد، همراه با مخاطراتی چون افزایش تولید پسماندهای انسانی و صنعتی و کشاورزی است که اگر به روش مناسبی دفع نگردد، می‌تواند منجر به آسیب جدی به محیط‌زیست به ویژه منابع آب فعلی کشور شود. با توجه به تنش‌های آبی موجود در کشور از قبیل، کاهش میزان بارندگی، کاهش کمی و کیفی آب در آبخوان‌ها، کاهش آب ذخیره سدها به خصوص در نواحی شرقی، اهمیت حفظ منابع آب موجود از نظر کمی و کیفی بیشتر احساس می‌شود.

یکی از روش‌های رایج برای دفع پسماندها، دفن در یک محل مناسب است. محلی که از یک‌سو با رعایت همه ضوابط و مقررات موجود کمترین خطر را برای محیط زیست انسانی و منابع آب داشته باشد و از طرف دیگر هزینه‌های حمل پسماندها به محل دفن به حداقل برسد. از این رو پیدا کردن یک مکان مناسب برای دفن پسماندها یکی از چالش‌های اساسی این روش به‌شمار می‌رود، چراکه یک مسئله چندمعیاری است و به عواملی چون محیط‌زیست، منابع آب، زمین‌شناسی، زیرساختی و غیره وابسته است. در صورتی که هر یک از معیارهای موثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندها لحاظ نشود، می‌تواند منجر به آسیب جدی و جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست، منابع آب و سلامت

انسان گردد. ترکیب سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری، ابزاری مؤثر برای رفع مشکل انتخاب محل دفن پسماند است، زیرا GIS پردازش و ارائه کارآمد داده‌ها را ارائه می‌دهد و مدل‌های جغرافیایی، رتبه‌بندی هماهنگ مناطق دفن زباله آینده‌نگر را بر اساس انواع معیارها بیان می‌کنند (Karimi et al., 2018). در این زمینه مطالعات متعددی در ایران و جهان صورت گرفته است. Firoozee و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از سیستم GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی^۲ (AHP) به مکان‌یابی مناطق مناسب برای دفن پسماندهای شهری در شهرستان لامرد پرداختند. آن‌ها از میان ۵ مکان پیشنهادی دفن بهداشتی پسماند شهری، بهترین مکان را انتخاب نمودند. Madadi و همکاران (۲۰۱۴) به مدل‌سازی مکان‌های مناسب دفن زباله شهر اردبیل با استفاده از روش‌های بولین، همپوشانی وزنی و سلسله مراتبی اقدام نمودند. نتایج آنها نشان داد روش بولین برای مکان‌یابی محل دفن پسماند مناسب نیست و از طرفی روش سلسله مراتبی بهترین نتایج را برای مکان‌یابی دفن پسماند ارائه می‌دهد.

Nasiri و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش‌های بولین و فازی به مکان‌یابی دفع پسماند در شهرستان ماکو پرداختند و مکان‌های مناسب دفن پسماندهای شهری ماکو را مشخص نمودند. Ildroumi و همکاران (۲۰۱۹) به مکان‌یابی جایگاه دفن زباله در شرق استان گیلان بر اساس روش غربال منطقه‌ای و محلی پرداختند. آنها با استفاده از GIS مناطق دارای محدودیت قانونی و همچنین مناطق مستعد جهت دفن پسماند را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که سه عامل اصلی همچون شرایط طبیعی، کاربری اراضی و عوامل اقتصادی در مقیاس محلی برای دفن پسماند مهم می‌باشند. Rezaei و Jamshidi-Zanjani (۲۰۱۷) با تلفیق روش عضویت‌دهی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مکان مناسب محل دفن پسماندهای

² Analytical Hierarchy Process

¹ Geographic Information System

Pouramraei و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه‌ای و ترکیب خطی وزنی^۲ (ANP-WLC) و GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری شهر کوه‌دشت پرداختند. آنان از معیارهای فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، فاصله از خطوط ارتباطی، فاصله از چاه و چشمه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب استفاده و نتایج خود را به پنج طیف بسیار نامناسب، نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب تقسیم نمودند. نتایج نشان داد ۱۹ درصد از مساحت شهرستان مناطق مناسبی برای دفن پسماند می‌باشند.

Gholami و همکاران (۲۰۲۱) به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری در شهر عسلویه پرداختند. آنها نتایج پژوهش خود را در ۴ کلاس کاملاً مناسب، مناسب، نامناسب و کاملاً نامناسب طبقه‌بندی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد پهنه‌های تعیین شده جهت دفن پسماند بیشتر منطبق بر زمین‌های بایر و مراتع فقیر است. Jalilian و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش‌های سوارا (SWARA) و کوپراس (COPRAS) و GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری در شهر کرمانشاه پرداختند. آنان در مطالعه خود از لایه‌های فرودگاه، جاده، شیب، مناطق حفاظت شده، خطوط ریلی، مراکز جمعیتی، زمین‌های کشاورزی، گسل، منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده نمودند. آنها در پژوهش خود عنوان کردند روش‌های سوارا و کوپراس با توجه به انعطاف بالا و دقت در ارائه نتایج از روش‌های معمول وزن‌دهی و رتبه‌بندی بهتر است.

Khademi Shiraz و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی و GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای ساختمانی شهر قزوین پرداختند. آنان در پژوهش خود از لایه‌های رودخانه، مناطق حفاظت شده، شیب، کاربری اراضی، خاک و زمین‌شناسی استفاده نمودند. نتایج پژوهش آنان نشان داد محدوده

شهری شهرستان اراک را شناسایی و نتایج حاصل را در چند طبقه با تناسب مکانی مختلف طبقه‌بندی نمودند. آنها نتیجه گرفتند بیشترین مساحت برای انتخاب مکان دفن پسماندهای شهری مربوط به مناطق با تناسب مکانی بالا می‌باشد. Vafadoost و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از GIS و مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۱ (ANP) مکان مناسب دفع پسماند در نقاط شهری شهرستان گناباد را مورد بررسی و شناسایی قرار دادند. آنها نقشه نهایی حاصل از مدل ANP را در چهار پهنه (کاملاً مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب) طبقه‌بندی کردند. نتایج آنها نشان داد مکان فعلی دفع پسماند شهرستان گناباد مناسب بوده و نیاز به جابجایی ندارد. Hailu و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهری در شهر ولکیت اتیوپی پرداختند. آنها در پژوهش خود از معیارهای زمین‌شناسی، رودخانه‌ها، چاه تامین آب زیرزمینی، جاده و تاسیسات عمومی استفاده نمودند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مکان فعلی دفن پسماندهای جامد شهری نامناسب بوده و مکان مناسب جدیدی برای دفن پسماندهای شهری پیشنهاد کردند. Hashemi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از ارزیابی چندمعیاره با رویکرد روی هم‌گذاری خطی در محیط IDRISI به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای صنعتی شهرک شمس‌آباد استان تهران پرداختند. آنان در پژوهش خود از معیارهای فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، شیب، فاصله از جاده، زمین‌شناسی، فاصله از خطوط نیرو، اراضی کشاورزی، مناطق صنعتی، مناطق مسکونی استفاده نمودند. آنان برای استانداردسازی لایه‌ها از روش فازی و برای تعیین وزن معیارها از روش مقایسه زوجی استفاده نمودند. سپس با تلفیق لایه‌ها نقشه نهایی محل‌های مناسب دفن پسماند را ارائه نمودند.

² Network analysis process and weighted linear combination

¹Analytic Network Process

شمال غربی قزوین به دلیل جنس خوب خاک، کاربری اراضی مناسب، فاصله از رودخانه‌ها و گسل‌ها و دسترسی به جاده‌ها و اقلیم خشک مناسب‌ترین مکان برای دفن پسماند ساختمانی می‌باشد.

Bagherabadi (۲۰۲۲) با استفاده از روش AHP در محیط GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری شهرستان صحنه پرداخت. در این پژوهش از لایه‌های شیب فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از گسل استفاده گردید. نتایج این پژوهش در پنج دسته بسیار نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب و بسیار مناسب طبقه‌بندی و نتیجه‌گیری گردید که محدوده‌های تعیین شده برای دفن مناسب پسماند مطلوبیت بالایی دارد. Tavakoli Naghme و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از روش توصیف تحلیلی در محیط GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای روستایی شهرستان قصرشیرین پرداختند. آنان در پژوهش خود از لایه‌های مناطق مسکونی، آبراهه‌ها، چاه‌های آب، کاربری زمین، مراتع، خاک، زمین‌شناسی، گسل و راه‌های ارتباطی استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد بخش عمده شهرستان قصرشیرین برای دفن پسماند مناسب نیست.

Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam

(۲۰۲۱) به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری شهرستان بیرجند با روش‌های آنتروپی و ANP پرداختند. آن‌ها با در نظر گرفتن ۴ معیار اصلی شامل محیط‌زیست طبیعی، شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی، وضعیت عوامل اقتصادی و نحوه بهره‌برداری منطقه و ۱۵ زیرمعیار مشخص، ۵ نقطه مناسب را به عنوان محل دفن پسماندهای شهری ارائه دادند. آنها با آنالیز خطای انتخابی پراکنش مکانی این نقاط نتیجه گرفتند که روش ANP پراکنش فاصله‌ای بیشتری نسبت به روش آنتروپی دارد. Amiri و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از سیستم AHP-فازی و GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری، شهر کنگان پرداختند. آنان در پژوهش خود از معیارهای زمین‌شناسی، شیب، گسل، فاصله از مناطق

مسکونی، رودخانه، سد، چاه‌ها و فاصله از زیرساخت‌ها استفاده نمودند. آنان در نهایت نتایج خود را به پنج دسته نامناسب، کمتر مناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب تقسیم‌بندی نمودند. Talebi (۲۰۲۳) در پژوهش خود با استفاده از مدل‌سازی تحلیلی چندمعیاره در محیط GIS به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری در شهر بم پرداخت. او در این پژوهش از ۸ معیار توپوگرافی، شیب، گسل، زمین‌شناسی، آبراهه‌ها، خطوط ارتباطی و فاصله از شهر استفاده و نتایج مطالعه خود را به چهار کلاس بسیار مناسب، مناسب، نامناسب و بسیار نامناسب طبقه‌بندی نمود. نتایج نشان داد بیشترین مکان بهینه برای دفن پسماند در جنوب شرق شهر بم وجود دارد. Kebede و Ayenew (۲۰۲۳) به مکان‌یابی پسماندهای شهر دزی در اتیوپی با استفاده از روش AHP پرداختند. آنها در پژوهش خود از پارامترهای زمین‌شناسی، زیرساختی و چاه‌های آب زیرزمینی استفاده و با دسته‌بندی محل‌های دفن زباله در پنج دسته نامناسب، کمتر مناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب، عنوان کردند، مکان فعلی دفن زباله در منطقه نامناسب قرار دارد و پیشنهاد کردند از دفن زباله در این مکان اجتناب شود.

شهرستان بیرجند با توجه به قرارگیری در نواحی خشک و کم‌آب، با چالش‌های متعددی در خصوص تامین آب مورد نیاز روبرو است. از این رو حفظ کیفیت منابع آب در این شهرستان به عنوان یک مسئله حیاتی و مورد تاکید در سند آمایش سرزمین از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از طرفی این شهرستان فاقد محل مشخصی برای دفن پسماندهای صنعتی و ویژه می‌باشد. همچنین در خصوص پسماندهای شهری نیز تنها شهر بیرجند دارای مکان مشخص برای دفن پسماند است و سایر شهرهای شهرستان بیرجند (حاجی‌آباد و القورات) فاقد محل مناسب برای دفن پسماندهای شهری است. این مسئله موجب دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه در شهرستان بیرجند در مکان‌هایی شده که منجر به آلودگی

ای چاه‌های آب شرب (Whaem) و مادر، مظهر و میله‌های قنات‌ها و چشمه‌ها در خراسان جنوبی استفاده شده است. همچنین در این تحقیق کلیه ضوابط مورد تاکید وزارت نیرو و سازمان محیط زیست به ویژه برای حفاظت از منابع آب با ذکر قوانین و مقررات مرتبط مورد تاکید قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی است و مرکز آن شهر بیرجند می‌باشد. وسعت این شهرستان ۳۹۴۸/۱۸ کیلومتر مربع است. شهرستان بیرجند در زون ۴۰ (شمالی) جغرافیایی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۷۰ متر است. جمعیت این شهرستان طبق آخرین سرشماری صورت گرفته در ایران یعنی سرشماری سال ۱۳۹۵ برابر با ۲۶۱۳۲۴ نفر برآورد شده است. شهرستان بیرجند شامل سه شهر بیرجند، حاجی‌آباد و القورات است که بر اساس اطلاعات دریافت شده از شهرداری بیرجند و سازمان محیط زیست میزان تولید روزانه پسماند خانگی در این شهرستان ۱۰۰ تن، پسماند بهداشتی ۱۰ تن و پسماند صنعتی ۲ تن است. شکل ۱ موقعیت شهرستان بیرجند را نشان می‌دهد. در حال حاضر شهرستان بیرجند فاقد یک محل مشخص برای دفن پسماندهای صنعتی و ویژه است. همچنین برای پسماندهای شهری نیز فقط شهر بیرجند دارای یک محل برای دفن پسماند است و سایر شهرها و مناطق شهرستان فاقد محل مشخصی برای دفن پسماندهای شهری است.

در این پژوهش از ترکیب سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی جهت مکان‌یابی محل دفن پسماندها استفاده گردید. در ادامه به معرفی روش همپوشانی فازی پرداخته می‌شود.

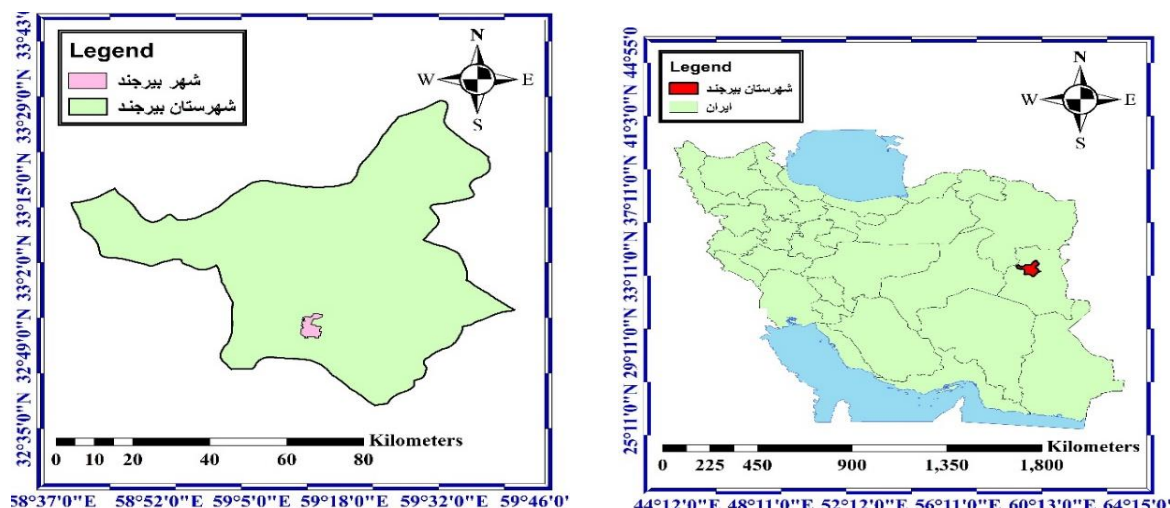
محیط‌زیست و به خصوص منابع آب می‌شود. از این رو انجام یک مکان‌یابی جامع برای محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه در این شهرستان ضروری است.

علاوه بر این در اکثر پژوهش‌هایی که تاکنون در خصوص مکان‌یابی دفن پسماند صورت گرفته، معمولاً به تعداد کمی از معیارهای منابع آبی اکتفا شده و از منابعی که نقش مهمی در تامین نیازهای آبی به خصوص در شهرستان بیرجند دارد مانند چشمه‌ها و قنات‌ها، استفاده نشده است. همچنین تاکنون در قریب به اتفاق پژوهش‌های انجام شده، از لایه‌های مهمی چون مناطق تغذیه کننده آبخوان، حریم نقطه‌ای چاه‌های شرب و حریم تامین آب شرب که نقش اساسی در کیفیت منابع آب زیرزمینی دارند استفاده نشده است.

هدف از انجام این پژوهش استفاده از ترکیب GIS و روش همپوشانی فازی برای مکان‌یابی محل دفن مناسب پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه در شهرستان بیرجند می‌باشد. این امر منجر به یافتن مکان‌های مناسبی می‌شود که ضمن دفن صحیح و بهداشتی انواع پسماندها از آلودگی محیط‌زیست و منابع آب جلوگیری می‌نماید.

پسماندهای شهری و عادی با وجود آلودگی کمتر نسبت به پسماند صنعتی و ویژه، در حجم بیشتری تولید می‌گردند. پسماندهای صنعتی عمدتاً به مواد شیمیایی آلوده‌اند و سمیت بیشتری نسبت به پسماندهای شهری دارند. پسماندهای ویژه نیز که می‌توانند از نوع شهری یا صنعتی باشند، مانند پسماندهای بیمارستانی، عمدتاً دارای آلودگی‌های عفونی و یا زیستی خطرناک هستند که برای محیط زیست و سلامت انسان بسیار مضراند.

در این پژوهش برای اولین بار از لایه‌های کامل منابع آبی از جمله مناطق تغذیه کننده آبخوان، حریم نقطه



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان بیرجند

Figure 1: Location of Birjand city

Novriadi & Darijanto, 2006; Tangestani,)
 روش فازی در اصل یک وزن‌دهی به لایه‌های
 مورد استفاده می‌باشد که قابل قبول‌ترین روش
 مکانیابی است. این روش، دارای ریسک‌پذیری پایین
 است (Nasiri *et al.*, 2017). الگوریتم فازی برای اولین
 بار توسط دانشمند ایرانی پروفیسور عسگر لطفی‌زاده
 استاد دانشگاه برکلی آمریکا برای مطالعه در شرایط
 عدم قطعیت ارائه شده است (PourAhmad *et al.*,
 2008). این نظریه قادر است که بسیاری از مفاهیم،
 متغیرها و سیستم‌هایی را که فاقد اطلاعات کافی بوده
 و مبهم می‌باشند، مدل‌سازی ریاضی کرده و زمینه را
 برای استدلال و تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت
 فراهم آورد (PourAhmad *et al.*, 2008). الگوریتم
 فازی ابزاری قدرتمند برای حل مسائل مربوط به
 سیستم‌های پیچیده به شمار می‌آید. مشکل عمده این
 مسائل وابستگی آن‌ها به استدلال، تصمیم‌گیری و
 استنباط بشری است (Kooreh Pazan, 2008). از این
 رو، نظریه مجموعه‌های فازی، یک نظریه ریاضی
 طراحی شده، برای مدل کردن ابهامات موجود در
 فرآیندهای وابسته به دانش بشری می‌باشد (Lee *et al.*,
 2008) بر اساس تئوری مجموعه فازی، درجه یا
 میزان ارزش اعضای یک مجموعه می‌توانند توسط
 بازه‌ای از مقادیر بین صفر و یک مورد بیان شود

به منظور مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری و
 صنعتی عادی و ویژه مراحل ذیل انجام شد:

تهیه داده‌های موردنیاز

داده‌های خام معیارهای مورد استفاده در این تحقیق
 از جمله معیارهای محیط‌زیستی، زمین‌شناسی، منابع
 آب و زیرساختی که هر کدام شامل چندین زیرمعیار
 می‌شوند به صورت لایه‌های (داده‌های مکانی) برداری

روش همپوشانی فازی

روش فازی در اصل یک وزن‌دهی به لایه‌های
 مورد استفاده می‌باشد که قابل قبول‌ترین روش
 مکانیابی است. این روش، دارای ریسک‌پذیری پایین
 است (Nasiri *et al.*, 2017). الگوریتم فازی برای اولین
 بار توسط دانشمند ایرانی پروفیسور عسگر لطفی‌زاده
 استاد دانشگاه برکلی آمریکا برای مطالعه در شرایط
 عدم قطعیت ارائه شده است (PourAhmad *et al.*,
 2008). این نظریه قادر است که بسیاری از مفاهیم،
 متغیرها و سیستم‌هایی را که فاقد اطلاعات کافی بوده
 و مبهم می‌باشند، مدل‌سازی ریاضی کرده و زمینه را
 برای استدلال و تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت
 فراهم آورد (PourAhmad *et al.*, 2008). الگوریتم
 فازی ابزاری قدرتمند برای حل مسائل مربوط به
 سیستم‌های پیچیده به شمار می‌آید. مشکل عمده این
 مسائل وابستگی آن‌ها به استدلال، تصمیم‌گیری و
 استنباط بشری است (Kooreh Pazan, 2008). از این
 رو، نظریه مجموعه‌های فازی، یک نظریه ریاضی
 طراحی شده، برای مدل کردن ابهامات موجود در
 فرآیندهای وابسته به دانش بشری می‌باشد (Lee *et al.*,
 2008) بر اساس تئوری مجموعه فازی، درجه یا
 میزان ارزش اعضای یک مجموعه می‌توانند توسط
 بازه‌ای از مقادیر بین صفر و یک مورد بیان شود

(وکتوری) از ارگان‌های مربوطه دولتی (محیط‌زیست، آب منطقه‌ای، راه و شهرسازی، منابع طبیعی و...) تهیه شدند.

تولید لایه‌های فاصله از عارضه

لایه‌های شیپ فایل تهیه شده مرحله قبل در نرم‌افزار ArcMap و با استفاده از تابع (Euclidean distance) به داده‌های رستری فاصله از عارضه تبدیل گردید.

فازی‌سازی لایه‌های فاصله از عارضه

فازی‌سازی لایه‌ها یکی از مراحل مهم در این روش است. جهت فازی‌سازی می‌توان از توابع مشهوری چون Linear و sigmoidal و J-shape استفاده نمود یا کاربر بر اساس نیاز تابع خود را تعریف نماید (Matkan et al., 2009). با توجه به اینکه توابع ذکر شده حداقل نیاز به دو حد آستانه دارند، (Matkan et al., 2009) و در قوانین محیط‌زیست تنها یک حد آستانه (حداقل فاصله از عارضه) ذکر شده است، از این رو در این مطالعه از این توابع استفاده نگردید. در این پژوهش، لایه‌های رستری فاصله از عارضه با برنامه‌نویسی در محیط Python در نرم‌افزار ArcMap، و بر اساس قوانین زیست‌محیطی موجود به صورت فازی استانداردسازی شد. بدین صورت که فاصله‌های رستری به مقادیر بین

صفر تا یک تبدیل گردید. در ادامه به بیان نحوه ارزش‌گذاری فازی لایه‌های رستری فاصله از عارضه هر یک از معیارهای مورد استفاده در این پژوهش، بر اساس مقررات و ضوابط زیست‌محیطی پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به اینکه در فازی‌سازی برخی لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده از جمله شیب، فرسایش، کاربری اراضی مقادیر بین صفر و یک وجود دارد نتایج نهایی همپوشانی فازی دارای مقادیر بین صفر و یک است. از این رو روش مکانیابی مورد استفاده در این تحقیق از منطق بولین فاصله گرفته و منطق بر منطق فازی است.

معیارهای محیط‌زیستی

در این بخش از زیرمعیارهای مناطق حفاظت شده و کاربری اراضی سازمان محیط‌زیست استفاده شد. مطابق با ضوابط دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه حداقل فاصله محل دفن پسماندهای عادی و ویژه از مناطق حفاظت شده محیط‌زیستی ۱۰۰۰ متر می‌باشد. همچنین محل دفن پسماندها از نظر کاربری اراضی باید دارای کمترین ارزش باشد. شکل‌های ۲ و ۳ این لایه‌ها را نشان می‌دهد. نحوه استانداردسازی این لایه‌ها در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- استانداردسازی فازی معیار مناطق حفاظت شده برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

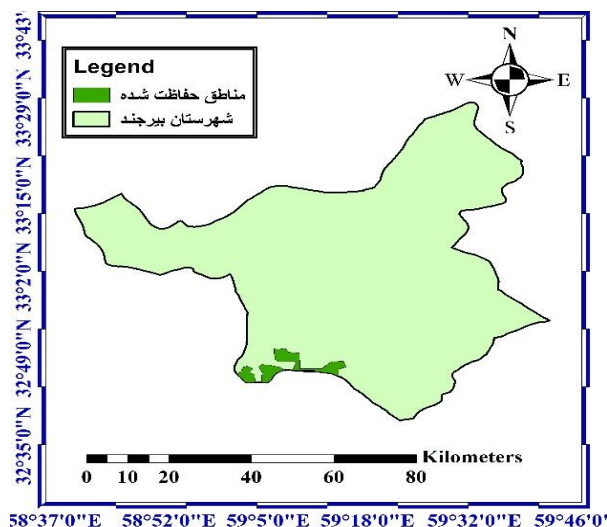
Table 1- Fuzzy standardization of protected areas criteria for normal and special urban and industrial wastes

معیار	کاملاً نامناسب	کاملاً مناسب
فاصله از مناطق حفاظت شده	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک

جدول ۲- استانداردسازی فازی معیار طبقه‌بندی کاربری اراضی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

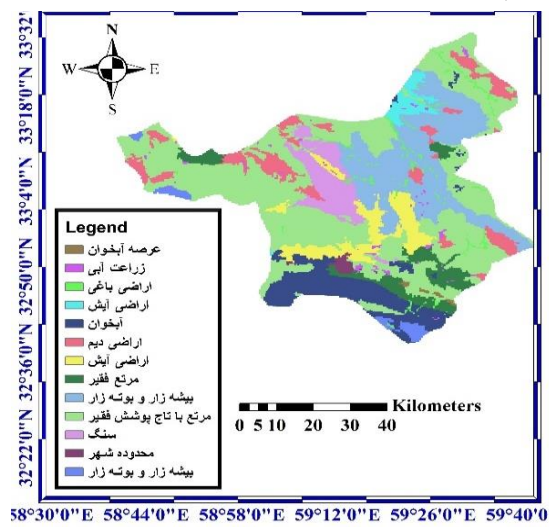
Table 2- Fuzzy standardization of land use criteria for normal and special urban and industrial wastes

معیار	ارزش فازی	معیار	ارزش فازی
سنگ، مرتع فقیر و شورزار، بیشه‌زار، بوته‌زار و مرتع فقیر	کاملاً مناسب (1)	اراضی آیش	نامناسب (0.25)
مرتع متوسط	مناسب (0.75)	اراضی باغی و زراعت آبی	کاملاً نامناسب (0)
کشاورزی دیم	متوسط (0.5)		



شکل ۳: موقعیت مناطق حفاظت شده محیط زیست

Figure 3: The location of the protected areas of the environment



شکل ۴: طبقه‌بندی کاربری اراضی شهرستان بیرجند

Figure 2: Classification of land use

گسل‌های فعال برابر ۲۰۰ متر و پسماندهای ویژه برابر ۵۰۰ متر است. حداقل فاصله محل دفن پسماندهای عادی و ویژه از معادن ۱۰۰۰ متر است. همچنین محل دفن زباله نباید در مناطقی که فرسایش آن شدید است قرار گیرد. علاوه بر این، مناطقی که شیب آن زیاد است برای دفن پسماندها مناسب نیست. شکل‌های ۴ تا ۷ این لایه‌ها و جداول ۳ تا ۵ نحوه استانداردسازی آن‌ها را نشان می‌دهد.

معیارهای زمین‌شناسی

در بخش زمین‌شناسی از لایه‌های گسل، کلاس‌بندی شدت فرسایش خاک (تهیه شده با مدل EPM)، شیب و معادن که از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی تهیه شده است، استفاده شد. بر اساس دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه حداقل فاصله محل دفن پسماندهای عادی از

جدول ۳- استانداردسازی فازی معیار شیب برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

Table 4- Fuzzy standardization of slope criteria for normal and special municipal and industrial wastes

معیار	کاملاً مناسب	مناسب	کاملاً نامناسب
شیب	3 تا 15 درجه دارای ارزش یک	15 تا 35 درجه دارای ارزش بین صفر تا یک	فاصله بیش از 35 درجه دارای ارزش صفر

جدول ۴- استانداردسازی فازی معیارهای گسل و محدوده معدنی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

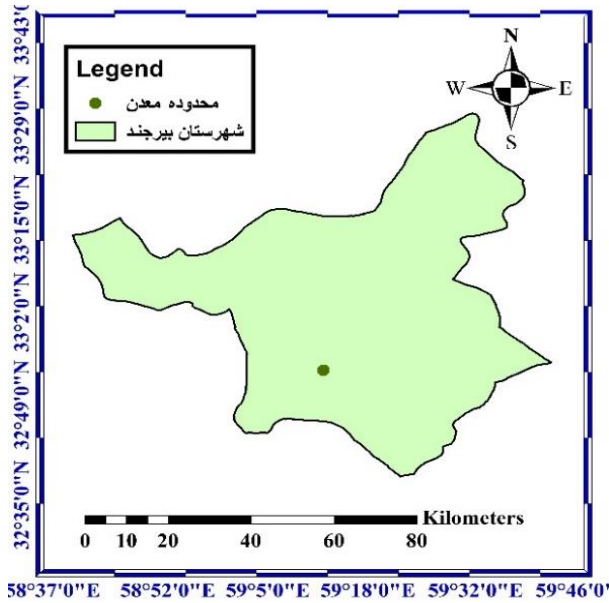
Table 3- Fuzzy standardization of fault and mines criteria for normal and special municipal and industrial waste

معیار	کاملاً نامناسب	کاملاً مناسب
فاصله از گسل برای پسماندهای عادی	فاصله 0 تا 200 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 200 متر دارای ارزش یک
فاصله از گسل برای پسماندهای ویژه	فاصله 0 تا 500 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 500 متر دارای ارزش یک
فاصله از محدوده معدنی برای پسماندهای عادی و ویژه	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک

جدول ۵- استانداردسازی فازی معیار کلاس‌بندی فرسایش خاک برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

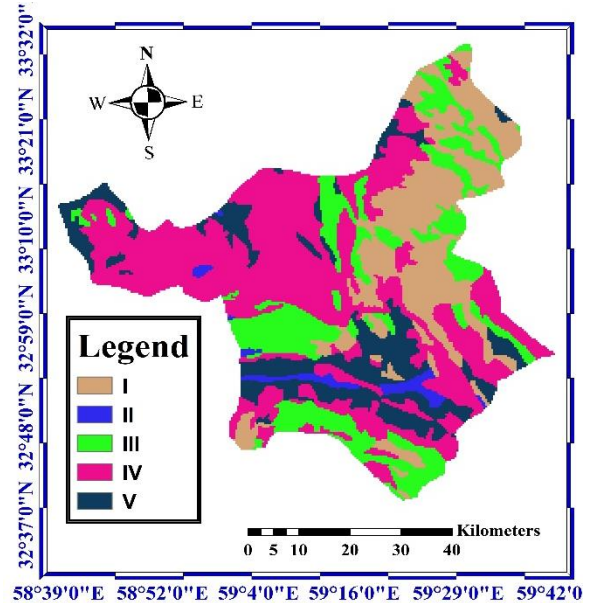
Table 5- Fuzzy standardization of soil erosion classification criteria for ordinary and special municipal and industrial wastes

کلاس فرسایش	ارزش فازی	کلاس فرسایش	ارزش فازی
کم و خیلی کم (I و II)	کاملاً مناسب (1)	شدید (IV)	نامناسب (0.25)
متوسط (III)	مناسب (0.75)	خیلی شدید (V)	کاملاً نامناسب (0)



شکل ۵: محدوده معدنی شهرستان بیرجند

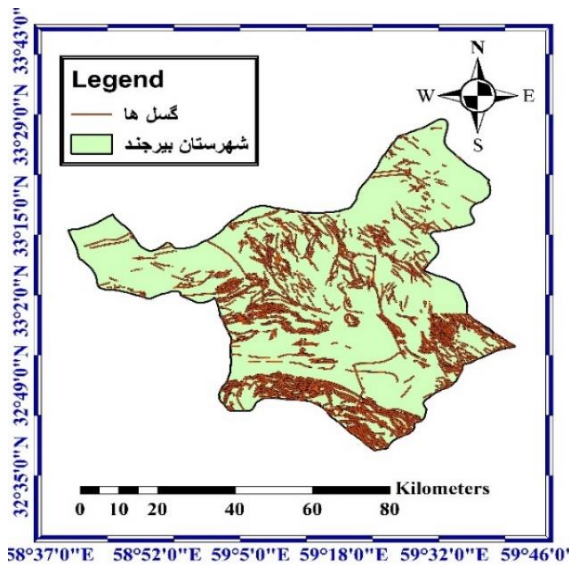
Figure 5: The mining area of Birjand city



شکل ۴: لایه کلاس‌بندی فرسایش خاک در شهرستان

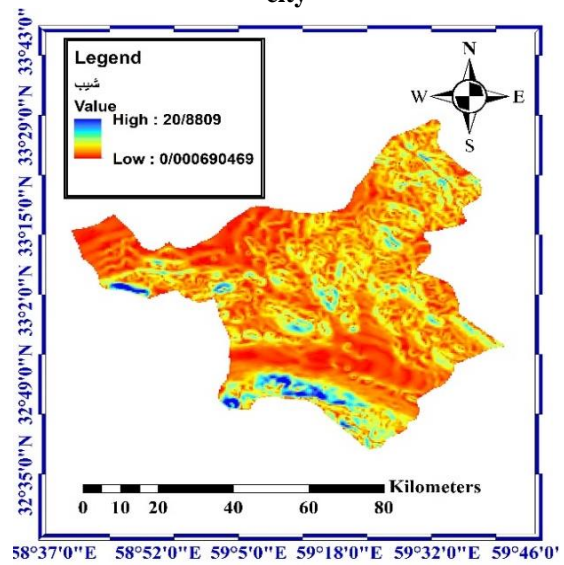
بیرجند

Figure 4: Soil erosion classification layer in Birjand city



شکل ۷: گسل‌های فعال شهرستان بیرجند

Figure 7: Active faults of Birjand city



شکل ۶: شیب زمین (بر حسب درجه)

Figure 6: Slope (in degrees)

پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه از مراکز جمعیتی ۱۰۰۰ متر، فرودگاه بین‌المللی ۸۰۰۰ متر، جاده‌های اصلی، بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها ۳۰۰ متر و خطوط انتقال نیرو ۵۰۰ متر است. شکل‌های ۸ و ۹ این لایه‌ها و جدول ۶ نحوه استانداردسازی آن‌ها را نشان می‌دهد.

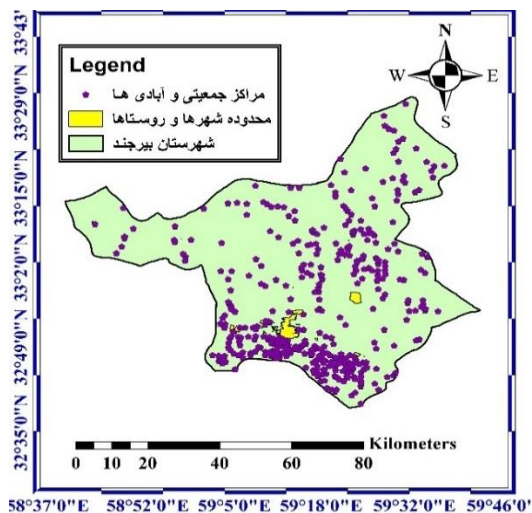
معیارهای زیرساختی

معیارهای زیرساختی شامل زیرمعیارهای مراکز جمعیتی از جمله محدوده شهر و روستا و آبادی‌ها، فرودگاه بین‌المللی، راه‌های ارتباطی و خطوط انتقال نیرو است. مطابق دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه حداقل محل دفن

جدول ۶- استانداردسازی فازی معیارهای زیرساختی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

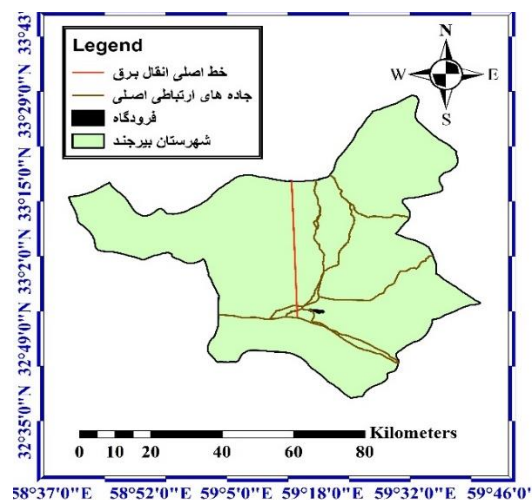
Table 6- Fuzzy standardization of infrastructure criteria for normal and special urban and industrial waste

معیار	کاملاً نامناسب	کاملاً مناسب
فاصله از مراکز جمعیتی	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک
فاصله از جاده‌ها	فاصله 0 تا 300 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 300 متر دارای ارزش یک
فاصله از خطوط انتقال برق	فاصله 0 تا 500 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 500 متر دارای ارزش یک
فاصله از فرودگاه بین‌المللی	فاصله 0 تا 8000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 8000 متر دارای ارزش یک



شکل ۹: محدوده‌ی شهر، روستاها، آبادی‌ها و مراکز جمعیتی

Figure 9: City, villages, and population centers



شکل ۸: جاده‌های مهم، فرودگاه و خط انتقال برق

Figure 8: Important roads, airport and power line

زیرزمینی باشد. مطابق ضوابط استقرار واحدهای خدماتی در حریم منابع آب، محل دفن پسماندهای شهری، کاربری رده پنج و محل دفن پسماندهای صنعتی و ویژه کاربری رده شش در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس حداقل فاصله استقرار کاربری‌های رده پنج از رودخانه‌ها ۲۵۰ متر و چشمه‌ها ۲۰۰ متر و حداقل فاصله استقرار کاربری‌های رده شش از رودخانه‌ها ۵۰۰ متر و چشمه‌ها ۲۵۰ متر است. با توجه به اینکه، محل دفن پسماند باید حداقل ۱ کیلومتر از آب‌های جاری فاصله داشته باشد، برای رودخانه‌ها نیز حریم ۱۰۰۰ متری برای کلیه کاربری‌ها در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ضوابط فوق استانداردسازی لایه‌ها انجام شد. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ معیارهای هیدرولوژی را در شهرستان بیرجند و جدول ۷ نحوه استانداردسازی لایه‌ها را نشان می‌دهد.

معیارهای منابع آب

معیارهای منابع آب شامل معیارهای هیدرولوژی و هیدروژئولوژی می‌شود. این معیارها از بابت حفظ کیفیت منابع آب دارای اهمیت بسیار زیادی است. از این رو قوانین و ضوابط مرتبط با معیارهای منابع آب باید با دقت و سختگیری بیشتری رعایت شود.

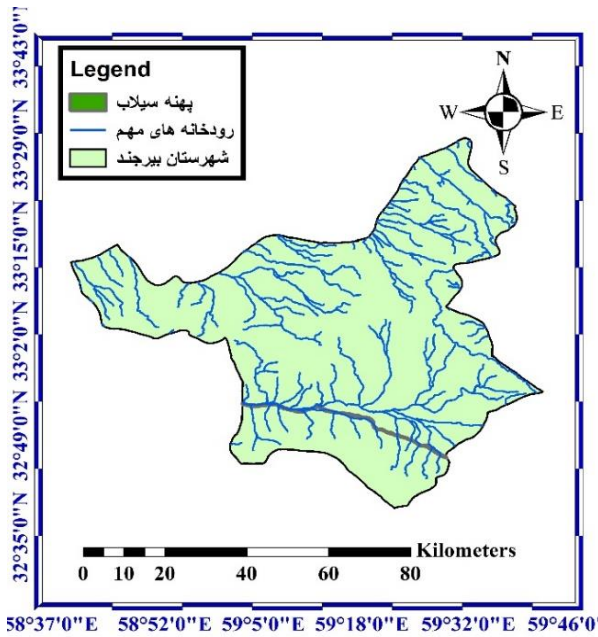
معیارهای هیدرولوژی

معیارهای هیدرولوژیکی شامل رودخانه‌ها، محدوده سدها، چشمه‌ها و پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله می‌باشد. مطابق با دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه، محل دفن پسماند باید حداقل یک کیلومتر از آب‌های جاری، محدوده سدها و پهنه سیلاب فاصله داشته باشد. همچنین، محل دفن پسماندها نباید در حریم منابع آب سطحی و

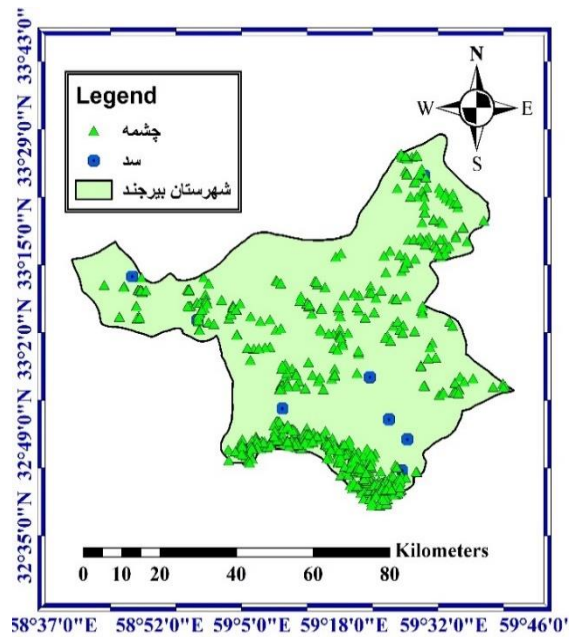
جدول ۷- استانداردسازی فازی معیارهای هیدروژئولوژی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

Table 7- Fuzzy standardization of hydrology criteria for normal and special urban and industrial wastes

معیار	کاملاً نامناسب	کاملاً مناسب
فاصله از رودخانه‌ها، پهنه سیلاب و سدها	فاصله 0 تا 1000 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 1000 متر دارای ارزش یک
فاصله از چشمه (کاربری رده پنج)	فاصله 0 تا 200 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 200 متر دارای ارزش یک
فاصله از چشمه (کاربری رده شش)	فاصله 0 تا 250 متر دارای ارزش صفر	فاصله بیش از 250 متر دارای ارزش یک



شکل ۱۱: موقعیت رودخانه‌های مهم و پهنه سیلاب
Figure 11: Important rivers and flood plain



شکل ۱۰: موقعیت سدها و چشمه‌های شهرستان بیرجند
Figure 10: Dams and springs

تصمیم‌گیری فازی وارد نشد. همچنین حداقل فاصله محل دفن پسماندها از چاه‌های آب شرب ۴۰۰ متر است و این مکان نباید در بالادست چاه‌های شرب و روی حریم‌های نقطه‌ای چاه‌های آب شرب واقع شود. بر اساس دستورالعمل استقرار واحدهای خدماتی در حریم منابع آب زیرزمینی حداقل فاصله محل استقرار کاربری‌های رده پنج از چاه‌های غیرشرب و قنات‌ها ۲۰۰ متر، و کاربری‌های رده شش ۲۵۰ متر است. با توجه به ضوابط فوق استانداردسازی فازی لایه‌های هیدروژئولوژی انجام شد. شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ معیارهای هیدروژئولوژی و جدول ۸ نحوه استانداردسازی این معیارها را نشان می‌دهد.

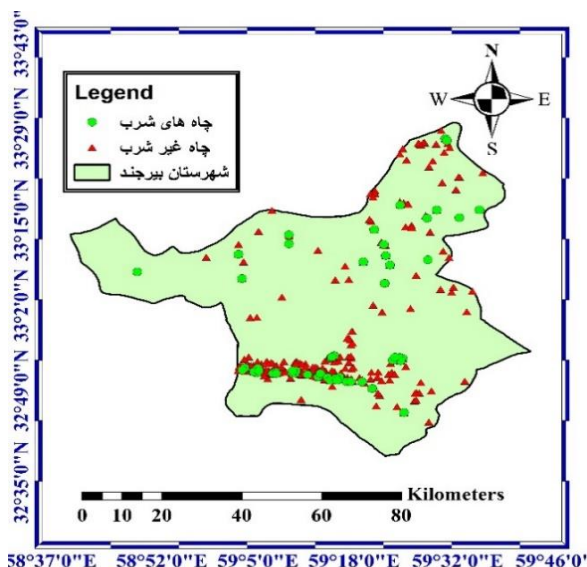
معیارهای هیدروژئولوژی

معیارهای هیدروژئولوژی شامل چاه‌های آب شرب و غیرشرب، قنات‌ها، آبخوان، ارتفاعات تغذیه کننده آبخوان، حریم شرب و حریم‌های نقطه‌ای چاه‌های آب شرب است. مطابق با دستورالعمل ارزیابی فنی دفن پسماندهای عادی و ویژه، محل دفن پسماند نباید در محدوده آبخوان، محل تغذیه کننده آبخوان و حریم شرب باشد. علاوه بر آن محل دفن پسماند نباید در مناطقی باشد که عمق آب زیرزمینی در ۱۰ ساله گذشته کمتر از ۵ متر بوده است. با توجه به اینکه در ۱۰ سال گذشته عمق آب زیرزمینی در آبخوان بیرجند همواره از ۵ متر بیشتر بوده، این معیار در

جدول ۸- استانداردسازی فازی معیارهای هیدروژئولوژی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

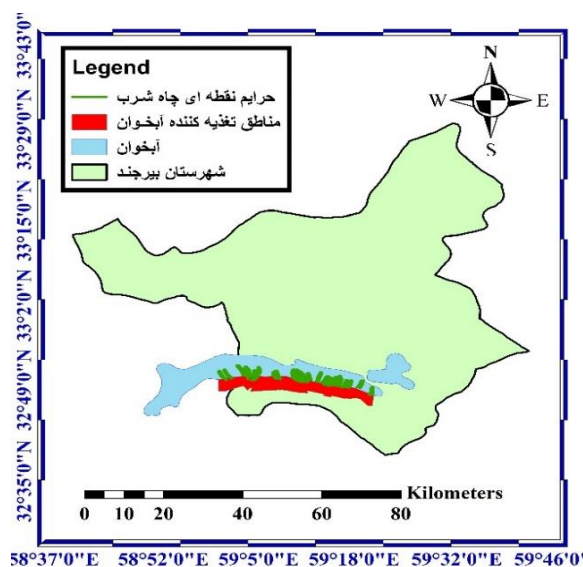
Table 8- Fussy standardization of hydrogeological criteria for normal and special municipal and industrial wastes

کاملاً مناسب	کاملاً نامناسب	معیار
فاصله بیش از 400 متر دارای ارزش یک	فاصله 0 تا 400 متر دارای ارزش صفر	فاصله از چاه شرب
خارج از لایه‌ها دارای ارزش یک	روی لایه‌ها دارای ارزش صفر	فاصله از آبخوان، مناطق تغذیه کننده آبخوان و حریم‌های نقطه‌ای چاه شرب و حریم شرب
فاصله بیش از 200 متر دارای ارزش یک	فاصله 0 تا 200 متر دارای ارزش صفر	فاصله از چاه های غیر شرب و قنات (کاربری رده پنج)
فاصله بیش از 250 متر دارای ارزش یک	فاصله 0 تا 250 متر دارای ارزش صفر	فاصله از چاه های غیر شرب و قنات (کاربری رده شش)



شکل ۱۳: موقعیت چاه‌های شرب و غیر شرب

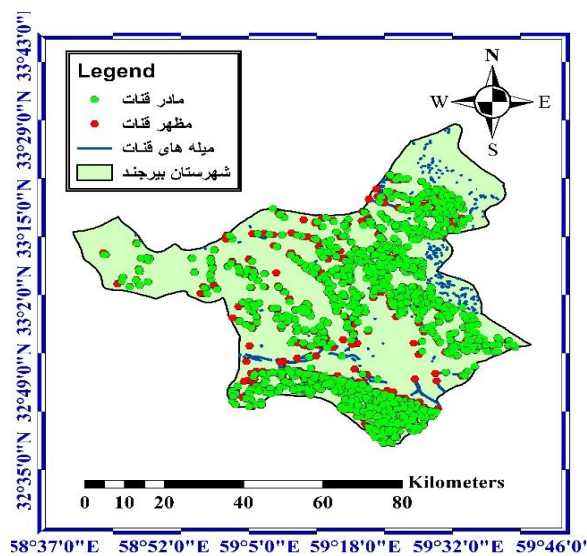
Figure 13: Drinking and non-drinking wells



شکل ۱۲: آبخوان، نواحی تغذیه کننده آبخوان و حریم‌های

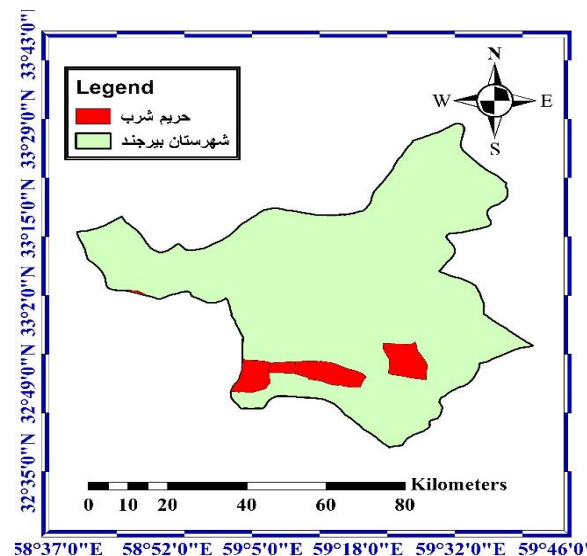
نقطه‌ای چاه‌های شرب

Figure 12: Aquifer, feeding areas of the aquifer and point boundaries of drinking wells



شکل ۱۵: میله، مظهر و مادر قنات‌ها

Figure 15: The wells and spring of the aqueducts



شکل ۱۴: حریم شرب

Figure 14: Drinking water boundary

همپوشانی فازی

توابع همپوشانی فازی مورد استفاده در این پژوهش AND, OR, SUM, PRODUCT, GAMMA بودند. روابط ۱ تا ۵ نحوه عمل توابع را نشان می‌دهد. در این روابط، arg مقادیر ورودی به تابع یا همان ارزش پیکسل هر یک از لایه‌های فازی است که عددی بین صفر تا یک خواهد بود. همچنین PRODUCT عملگر ضرب، max عملگر حداکثر و min نیز عملگر حداقل است. در رابطه ۵، Pow نمایانگر عملگر توان و GAMMA نیز مقدار توان است. در صورتی که مقدار توان ۱ انتخاب شود تابع GAMMA همان نتایج تابع SUM را ارائه می‌دهد. اگر برای توان مقدار صفر انتخاب شود نتایج تابع GAMMA مانند تابع PRODUCT می‌شود. برای مقادیر توان بین صفر تا یک نتایج حاصله ترکیبی از نتایج توابع AND و OR است. در این مطالعه برای توان تابع GAMMA مقدار ۰/۸۵ انتخاب شد.

$$Fuzzy_{OR} = \max (arg_1, arg_2, \dots, arg_n) \quad ۱$$

$$Fuzzy_{SUM} = 1 - \text{Product} (1 - arg_1, 1 - arg_2, \dots, 1 - arg_n) \quad ۲$$

$$Fuzzy_{AND} = \min (arg_1, arg_2, \dots, arg_n) \quad ۳$$

$$Fuzzy_{PRODUCT} = \text{Product} (arg_1, arg_2, \dots, arg_n) \quad ۴$$

$$Fuzzy_{GAMMA} = Pow(1 - ((1 - arg_1) \times (1 - arg_2) \times \dots \times (1 - arg_n)), Gamma) \times \quad ۵$$

$$Pow(arg_1 \times arg_2 \times \dots \times arg_n, Gamma)$$

نتایج

شکل ۱۶ نتیجه مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه، شهرستان بیرجند حاصل از توابع OR, SUM را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشخص است، این توابع برای تمام سلول‌ها ارزش فازی یک را به دست می‌دهد. در نتیجه توابع OR و SUM برای تصمیم‌گیری در خصوص

مکان دفن پسماند مناسب نیستند. همچنین شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ نتیجه مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه، شهرستان بیرجند حاصل از توابع AND, PRODUCT, GAMMA را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها مناطق قرمز رنگ با ارزش فازی صفر نشان دهنده مناطق ممنوعه برای دفن پسماند است. دفن هر نوع پسماندی در این مناطق موجب نقض قوانین محیط‌زیست کشور شده و آلودگی محیط‌زیست و منابع آب را در پی دارد. هرچه به سمت آبی‌رنگ با ارزش فازی یک نزدیک می‌شویم، میزان خطر دفن پسماند برای محیط‌زیست و منابع آب کاهش می‌یابد به نحوی که مناطق آبی‌رنگ (ارزش فازی یک) بهترین مناطق برای دفن پسماند است. همان‌طور که از شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ مشخص است تعداد مناطق مناسب برای دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه بسیار کم است که با توجه به تعدد و پراکندگی منابع آبی شهرستان بیرجند همان‌طور که در بخش معیارهای منابع آب (شکل‌های ۱۰ تا ۱۵) مشاهده شد، طبیعی است. همچنین با توجه به اینکه در این شکل‌ها کل آبخوان و شهر بیرجند در نواحی ممنوعه (قرمز رنگ) برای دفن پسماند قرار دارد، نشان از صحت نتایج به دست آمده از این توابع است.

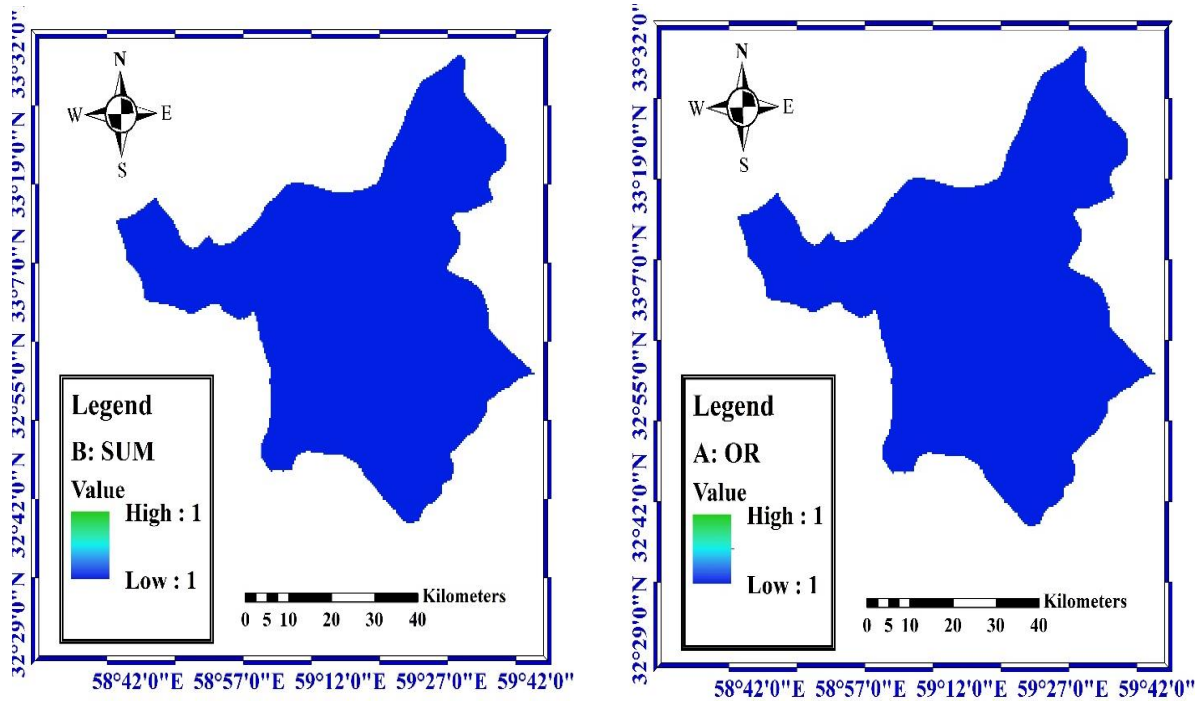
با توجه به نتایج حاصل از همپوشانی فازی با توابع AND, OR, SUM, PRODUCT, GAMMA که در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ نشان داده شد، توابع OR و SUM نتایج مناسبی برای تصمیم‌گیری فازی ارائه نمی‌دهند. از این رو، این توابع از ادامه روند تصمیم‌گیری فازی حذف شدند. نتایج توابع AND, PRODUCT و GAMMA بر اساس میزان خطری که دفن در هر منطقه برای محیط‌زیست و منابع آب به پنج طبقه تقسیم شد (Amiri et al., 2023). این طبقات شامل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم است. بر این اساس مناطق با ارزش فازی صفر در طبقه با خطر بسیار زیاد، مناطق با ارزش

تا ۲۲ نحوه طبقه‌بندی نتایج هر یک از توابع فازی را برای پسماندهای شهری و عادی و صنعتی و ویژه نشان می‌دهد. در این شکل‌ها مناطق قرمز رنگ (با خطر دفن بسیار زیاد) معادل نواحی قرمز رنگ در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ است. در این مناطق دفن پسماند ممنوع بوده و موجب آسیب به محیط‌زیست و منابع آب می‌شود. همچنین مناطق سبز رنگ در این شکل‌ها معادل مناطق آبی‌رنگ و متمایل به آبی در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ است. این مناطق مناسب‌ترین مکان‌ها برای دفن پسماند است. همچنین دفن انواع پسماندها در نواحی با خطر کم ناقض قوانین محیط‌زیست نیست و می‌توان از این نواحی نیز جهت دفن پسماند استفاده نمود. اما در مناطق با خطر دفن زیاد و متوسط گرچه قوانین زیست‌محیطی نقض نمی‌شود ولی بهتر است جز در مواقع خاص که مکان‌های مناسب برای دفن در دسترس نیست مورد استفاده قرار نگیرد.

همچنین مختصات مکان فعلی دفن پسماندهای شهری و عادی شهر بیرجند از شهرداری بیرجند گرفته شد. شکل‌های ۲۰ تا ۲۲ موقعیت فعلی محل دفن پسماندهای شهری بیرجند را نشان می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها بر اساس نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA محل فعلی دفن پسماندهای شهری بیرجند در ناحیه دفن با میزان خطر بسیار زیاد (قرمز رنگ) قرار دارد. علت این امر قرارگیری محل فعلی دفن پسماند شهری بیرجند بر روی منطقه‌ای با میزان فرسایش بسیار زیاد و همچنین فاصله کمتر از ۳۰۰ متر آن با جاده اصلی (نقض حریم جاده) است. از این رو بهتر است در خصوص جابجایی آن به یک محل مناسب‌تر تصمیم‌گیری شود.

فازی بین ۰ تا ۰/۲۵ در طبقه با خطر زیاد، مناطق با ارزش فازی ۰/۲۵ تا ۰/۵ در مناطق با خطر متوسط، مناطق با ارزش فازی ۰/۵ تا ۰/۷۵ در طبقه با خطر کم و مناطق با ارزش فازی ۰/۷۵ تا ۱ در طبقه با خطر بسیار کم تقسیم‌بندی شدند. جدول ۱۱ مساحت هر یک از طبقات در هر یک از توابع را برای پسماندهای شهری و عادی را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۱۱، مساحت مناطق با خطر دفن بسیار زیاد در همه توابع یکسان بوده و برابر $3535/982$ کیلومتر مربع است. همچنین با توجه به داده‌های جدول فوق، تابع AND کمترین مساحت را برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر $148/8573$ کیلومتر مربع) به دست می‌دهد. در مقابل از تابع GAMMA بیشترین مساحت برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر $368/7034$ کیلومتر مربع) حاصل می‌شود. علاوه بر این برای تابع GAMMA مساحت نواحی با خطر زیاد و متوسط برابر صفر می‌باشد و هیچ ناحیه‌ای در این طبقات قرار نمی‌گیرد. جدول ۱۲ نیز مساحت هر یک از طبقات در هر یک از توابع را برای پسماندهای صنعتی و ویژه نشان می‌دهد. برای پسماندهای صنعتی و ویژه نیز بر اساس جدول ۱۲، مساحت مناطق با خطر دفن بسیار زیاد در همه توابع یکسان بوده و برابر $3670/934$ کیلومتر مربع است. همچنین با توجه به داده‌های این جدول، توابع AND و PRODUCT کمترین مساحت را برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر $90/3096$ کیلومتر مربع) به دست می‌دهند. در مقابل از تابع GAMMA بیشترین مساحت برای مناطق با خطر دفن کم و بسیار کم (مجموعاً برابر $233/7512$ کیلومتر مربع) حاصل می‌شود. علاوه بر این برای تابع GAMMA مساحت نواحی با خطر زیاد و متوسط برابر صفر است و هیچ ناحیه‌ای در این طبقات قرار نمی‌گیرد. شکل‌های ۲۰

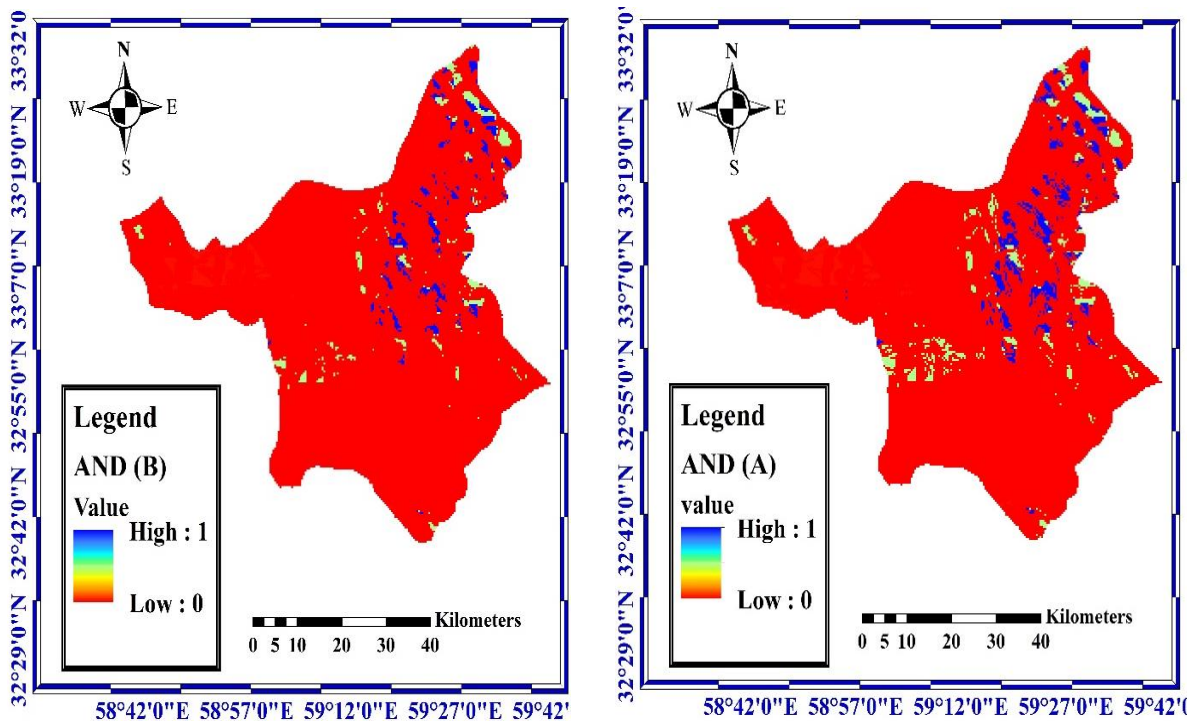


شکل ۱۶: لایه نهایی همپوشانی فازی برای پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه

(A: تابع OR، B: تابع SUM)

Figure 16: The final Fuzzy overlay Layer for normal and special urban and industrial waste

(A: OR Function, B: SUM Function)

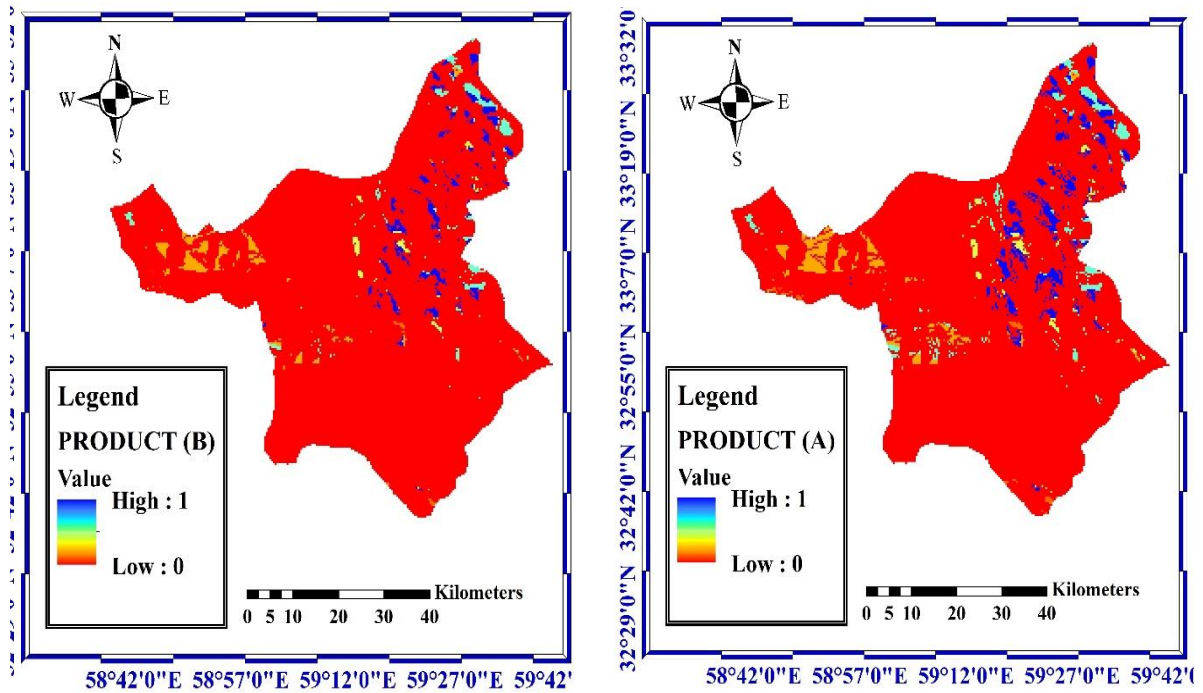


شکل ۱۷: لایه نهایی همپوشانی فازی حاصل از تابع AND

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 17: The final layer of the fuzzy overlay, resulting from the AND function

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)

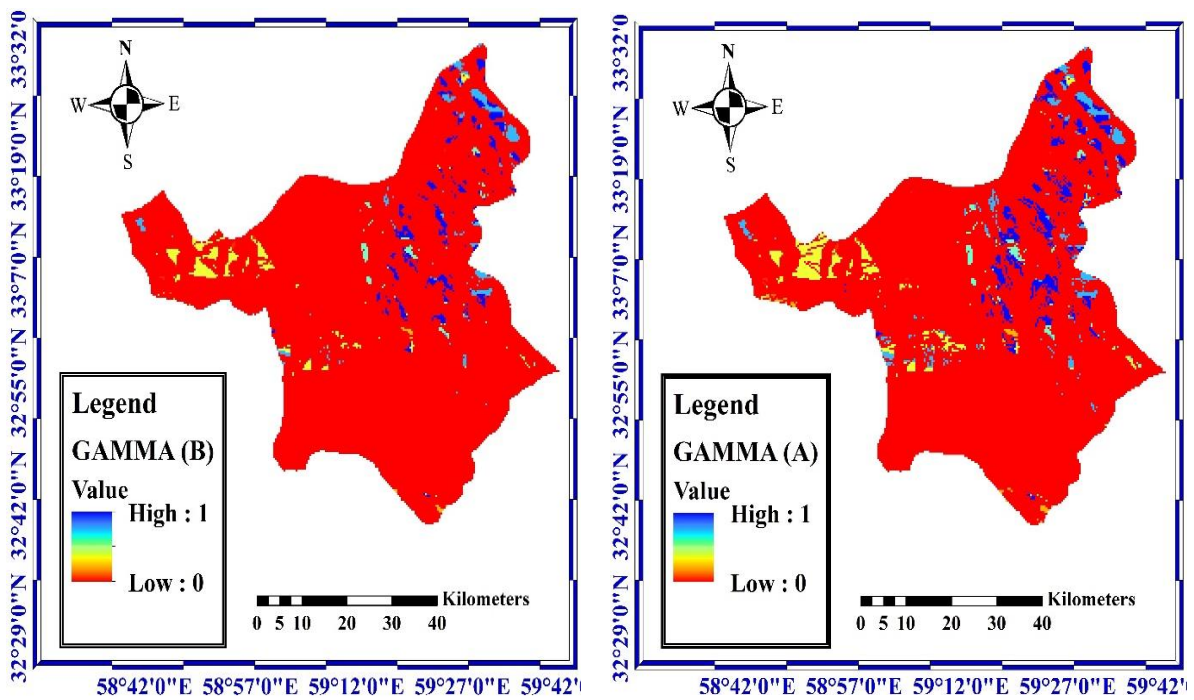


شکل ۱۸: لایه نهایی همپوشانی فازی حاصل از تابع PRODUCT

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 18: The final layer of the fuzzy overlay, resulting from the PRODUCT function

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)



شکل ۱۹: لایه نهایی همپوشانی فازی حاصل از تابع GAMMA

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 19: The final layer of the fuzzy overlay, resulting from the GAMMA function

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)

جدول ۱۱- طبقه‌بندی نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA برای پسماندهای شهری و عادی

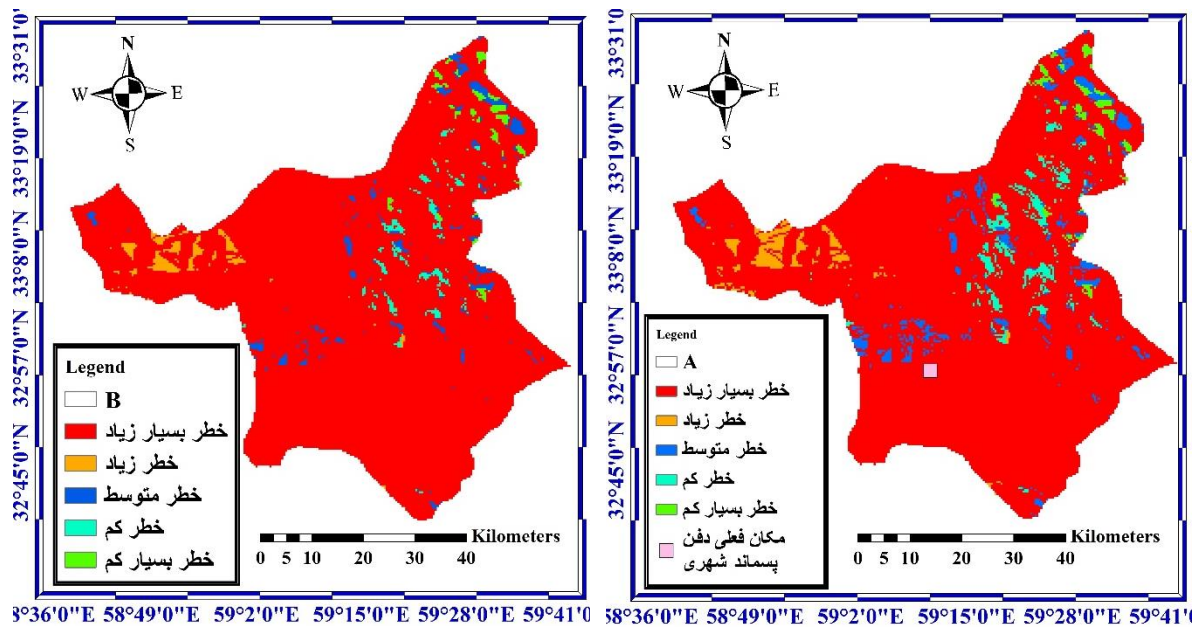
Table 11- Classification of AND, PRODUCT and GAMMA functions results for urban and normal waste

مساحت طبقات (کیلومتر مربع)			دامنه تغییرات	نام طبقات
GAMMA	PRODUCT	AND		
3535.982	3535.982	3535.982	0	میزان خطر بسیار زیاد
0	107.8739	76.40461	0-0.25	میزان خطر زیاد
0	111.9723	143.4416	0.25-0.5	میزان خطر متوسط
4.537438	100.1164	100.1164	0.5-0.75	میزان خطر کم
364.166	48.74087	48.74087	0.75-1	میزان خطر بسیار کم

جدول ۱۲- طبقه‌بندی نتایج توابع AND، PRODUCT و GAMMA برای پسماندهای صنعتی و ویژه

Table 12- Classification of AND, PRODUCT and GAMMA functions results for industrial

مساحت طبقات (کیلومتر مربع)			دامنه تغییرات	نام طبقات
GAMMA	PRODUCT	AND		
3670.934	3670.934	3670.934	0	میزان خطر بسیار زیاد
0	70.54985	53.57105	0-0.25	میزان خطر زیاد
0	72.89175	89.87056	0.25-0.5	میزان خطر متوسط
3.512856	52.25373	52.25373	0.5-0.75	میزان خطر کم
230.2384	38.05593	38.05593	0.75-1	میزان خطر بسیار کم

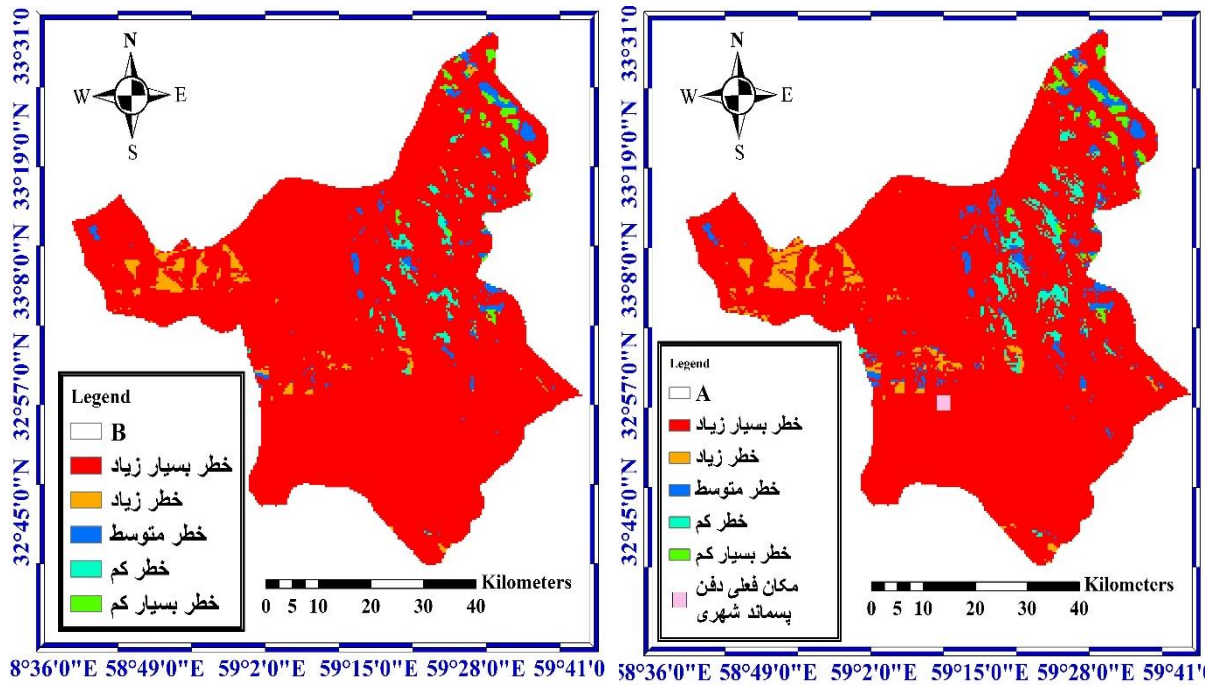


شکل ۲۰: طبقه‌بندی اراضی برای دفن پسماندهای شهرستان بیرجند بر اساس نتایج تابع AND

(A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 20: Land classification for waste burial in Birjand city based on AND function results

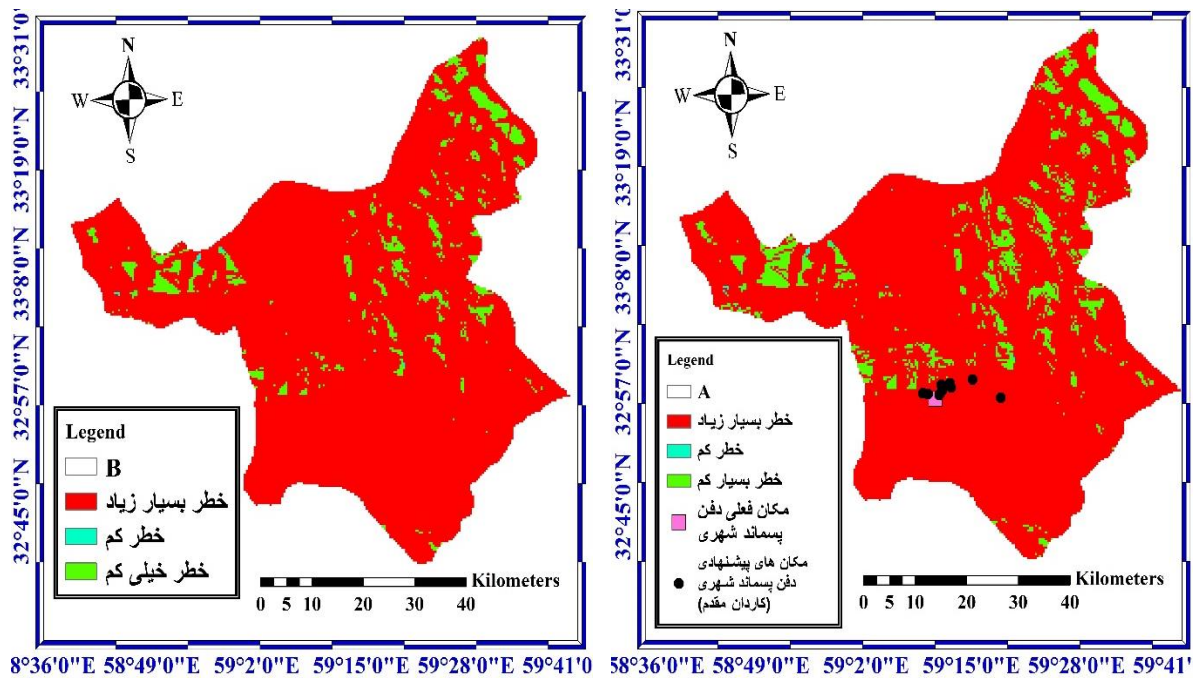
(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)



شکل ۲۱: طبقه‌بندی اراضی برای دفن پسماندهای شهرستان بیرجند بر اساس نتایج تابع PRODUCT (A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 21: Land classification for waste burial in Birjand city based on PRODUCT function results

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)



شکل ۲۲: طبقه‌بندی اراضی برای دفن پسماندهای شهرستان بیرجند بر اساس نتایج تابع GAMMA (A: پسماندهای شهری و عادی، B: پسماندهای صنعتی و ویژه)

Figure 22: Land classification for waste burial in Birjand city based on GAMMA function results

(A: Municipal and normal waste, B: Industrial and special waste)

بحث

با توجه به نتایج جداول ۱۱ و ۱۲ این موضوع تایید می‌شود که اگر مقدار توان تابع GAMMA بین ۱ و صفر انتخاب شود، نتایج ترکیبی از توابع AND و OR خواهد بود؛ یعنی از یک طرف برای مناطق با خطر بسیار زیاد نتایج بدبینانه مانند تابع AND به دست آمده است ولی برای مناطق با خطر کم و بسیار کم حداکثر مساحت به دست آمده که مانند تابع OR حالت خوشبینانه‌تری است. با توجه به اینکه تابع GAMMA بیشترین مساحت مناطق مناسب برای دفن پسماند را نسبت به سایر توابع بدست می‌دهد و از طرفی مناطق ممنوعه محیط‌زیستی برای دفن پسماند را مانند سایر توابع حفظ می‌کند؛ در نتیجه نتایج آن (شکل ۲۲) به عنوان نتایج نهایی برای دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه انتخاب می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۲۲ بیشتر مناطق در طبقه‌بندی با خطر بسیار زیاد برای دفن پسماند قرار می‌گیرد و نامناسب می‌باشد که با نتایج Vafadoost و همکاران (۲۰۱۷) و Kebede و Ayenew (۲۰۲۳) همراستا است. همچنین نتایج با نتایج پژوهش Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam (۲۰۲۱) مطابقت دارد که عنوان نمودند موقعیت کنونی محل دفن پسماندهای شهرستان بیرجند در منطقه نامناسب قرار گرفته است، در نتیجه تغییر محل آن ضروری است. علاوه بر این Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam (۲۰۲۱) در پژوهش خود تنها به مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری در شهر بیرجند اکتفا نمودند ولی محدوده پژوهش حاضر کل شهرستان بیرجند بوده و برای انواع پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه، مکان‌یابی صورت گرفته است. همچنین آنان در پژوهش خود تنها از چاه‌های آب، رودخانه‌ها و آبخوان برای معیارهای منابع آب استفاده نمودند. در حالی که سایر منابع آبی چون چشمه‌ها و قنات‌ها نقش اساسی در تامین آب شهرستان بیرجند دارد. در پژوهش حاضر از تمامی داده‌های منابع آبی در مکان‌یابی استفاده شده است.

شکل ۲۲-A مقایسه بین نقاط معرفی شده توسط آنان برای محل دفن پسماندهای شهری عادی و نتایج این پژوهش برای پسماندهای شهری عادی است. همانطور که از شکل ۲۲-A مشخص است کلیه نقاط معرفی شده توسط Kardan Moghaddam و Kardan Moghaddam (۲۰۲۱) در مناطق ممنوعه با خطر بسیار زیاد (قرمز رنگ) قرار دارد. دلیل این امر عدم استفاده آنان از همه معیارهای منابع آبی است. علاوه بر این آنان حداقل فاصله مکان دفن پسماند تا منابع آبی را ۱۰۰ متر در نظر گرفتند که این مسئله ناقض قوانین محیط زیست (جداول ۷ و ۸) است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه جهت مشخص کردن دقیق محل دفن پسماندها نیاز به اطلاعات دیگری از قبیل نوع مالکیت اراضی (خصوصی یا دولتی) بوده، و این اطلاعات در حال حاضر در اختیار نگارندگان مقاله قرار ندارد، در پژوهش حاضر به طبقه‌بندی اراضی شهرستان بیرجند بر اساس میزان خطرات دفن پسماندها برای محیط‌زیست و منابع آب اکتفا شده و از مشخص نمودن دقیق محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه خودداری گردیده است.

نتیجه‌گیری

یافتن مکان مناسب جهت دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه یکی از چالش‌ها اساسی محیط‌زیست است. در این پژوهش، محل دفن پسماندهای شهری و صنعتی عادی و ویژه شهرستان بیرجند با استفاده از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش همپوشانی فازی مکان‌یابی شد. روش همپوشانی فازی امکان استفاده از توابع مختلف جهت همپوشانی لایه‌های فازی را به کاربر می‌دهد. مزیت این روش این است که کاربر می‌تواند با توجه به شرایط و خواسته خود از نتایج تابعی استفاده نماید، که بیشترین یا کمترین منطقه ممنوعه را در اختیار وی قرار می‌دهد. همچنین در روش فازی کاربر از قطعیت بود و نبود (صفر و یک) منطق بولین فاصله گرفته و طیف وسیعی از احتمالات بین صفر و یک را در اختیار دارد. این مزیت

گردید. طبقه‌بندی نتایج نشان داد بیش‌تر مناطق جنوبی شهرستان بیرجند برای دفن انواع پسماندها نامناسب است و بیشترین مناطق مناسب برای دفن پسماند در شرق و شمال شرق شهرستان و برخی مناطق غربی قرار دارد. با توجه تمرکز عمده منابع آبی شهرستان بیرجند در مناطق جنوبی استان این مسئله نشان‌دهنده اهمیت استفاده از معیارهای کامل منابع آبی در مکانیابی است. همچنین طبقه‌بندی نتایج، نقشه‌هایی را در اختیار کاربران قرار داد که در هر زمان و برای هر منطقه از شهرستان می‌توان با استفاده از آن محلی مناسب برای دفن پسماند پیدا نمود.

در مسئله مکانیابی دفن پسماند مناطق بیشتری جهت دفن پسماند در اختیار کاربران قرار می‌دهد. همچنین در این پژوهش از تمامی معیارهای منابع آبی موثر در مکانیابی استفاده شد. این مسئله تاثیر به سزایی در مکانیابی محل‌های مناسب دفن پسماند گذاشت به نحوی که نتایج پژوهش پیشین در خصوص مکانیابی محل دفن پسماندهای شهری بیرجند را رد نمود. در این پژوهش پس از همپوشانی لایه‌ها با توابع مختلف، نتایج تابع GAMMA به عنوان نایج نهایی مکانیابی انتخاب شد. سپس نتایج نهایی بر اساس ارزش فازی در ۵ دسته شامل خطر بسیار زیاد، خطر زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر بسیار کم طبقه‌بندی

References

- An, P., Moon., W.M. & Rencz, A. (1991). Application of fuzzy set theory for integration of geological, geophysical and remote sensing data. *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, 27(1), 1-11.
- Amiri, F., Babaei, F. & Tabatabaie, T. (2023). Site Selection of Kangan Municipal Solid Waste Landfill by Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and GIS. *The Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 23(69), 343-362. (In Persian)
- Bagherabadi, R. (2022). Locating the landfill in Sahneh county using GIS. *Management of Natural Ecosystems*, 2(1), 62-71. <https://doi.org/10.22034/emj.2022.252721> (In Persian)
- Firoozee, M., Amanpoor, S. & Mohammadi, A. (2011). Locating the landfill site of urban waste using geographic information system (GIS): a case study of Lamard city. *Journal of Advanced Applied Geology*, 1(1), 104-112. (In Persian)
- De Gruijter, J.J., Walvoort, D.J.J. & Bragato, G. (2011). Application of fuzzy logic to Boolean models for digital soil assessment. *Journal of Geoderma*, 166 (1), 15-33. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.06.003>
- Gholami, M., Nazari, V. & Reza Ali, M. (2021). Locating Urban landfills using GIS and AHP (Case Study: Asaluyeh Coastal-Industrial City). *Quarterly of New Attitudes in Human Geography*, 13(2), 193-210. (In Persian)
- Godarzi, M. & Hajiani, E. (2023). Futurology of the implementation of National Land Use Document. *Town and Country Planning*, 15(1), 1-17. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2023.348562.670349> (In Persian)
- Hashemi, Z., Rafiee, R. & Moeinaddini, M. (2020). Site selection of Industrial Wastes Landfill Case Study: Shams Abad Town, Tehran Province. *Journal of Environmental Science Studies*, 5(1), 2413-2419. (In Persian)
- Hailu, Y., Hanchiso, T. & Bereta, A. (2019). Municipal Solid Waste Suitable Disposal Site Selection, Case Study, Wolkite Town, Ethiopia. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*. 20(4), 126-131. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.20.556044>
- Ildroumi, A.R., Nouri, H., Mirzaei, R. & Diant, L. (2019). Locating the sanitary landfill site using geographic information system and hierarchical analysis process (case study: Zarindasht city of Shiraz). *Environmental Science and Bioengineering*, 7, 23-40. (In Persian)
- Jalilian, S., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Monavari, S.M. & Lorestani, B. (2021). Landfill site selection for municipal solid waste with combining SWARA technique and COPRAS method using GIS (Case study: Kermanshah, Iran). *Journal of Environmental Health Engineering*, 9(1), 41-58. <https://doi.org/10.52547/jehe.9.1.41> (In Persian)
- Kardan Moghaddam, H. & Kardan Moghaddam, H. (2021). Using multi-criteria approaches to

- landfill location (Study area: Birjand City). *Adv. Appl. Geol.*, 11(2), 318-331.
<https://doi.org/10.22055/aag.2020.33092.2108>
 (In Persian)
- Karimi, H., Amiri, S., Huang, J. & Karimi, A. (2018). Integrating GIS and multi-criter decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 7305-7318.
<https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7>
- Kebede, H. & Ayenew, W.A. (2023). Solid waste disposal site selection analysis using geospatial technology in Dessie city Ethiopia. *Heliyon*, 9, e18865.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18865>
- Khademi Shiraz, M., Ravanshadnia, M., Khoshand, A. & Abbasianjahromi, H. (2021). Site Selection of Construction Waste Landfill Based on Combination of Fuzzy AHP and Geospatial Information System (GIS) (Case Study: Qazvin, Iran). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(7).
<https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17555.6599>
 (In Persian)
- Kooreh Pazan, A. (2008). Dezfuli Principles of fuzzy set theory and its application in the modeling of water engineering problems. *Amirkabir University of Technology Academic Center of education*. (In Persian)
- Lee, A.H.I., Chen, W.C. & Chang, C.J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, *Expert Systems with Applications*, 34, 96-107.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.022>
- Matkan A. Shakiba A. Pourali H. & Nazmfar H. (2009). Urban Waste Landfill Site Selection by GIS (Case Study: Tabriz City). *Environmental Sciences*, 6(2), 65-76. (In Persian)
- Madadi, A., Azadi, M. & Babayee, F. (2014). Modeling suitable landfill sites using AHP methods, fuzzy logic, weighted overlap index and Boolean logic (case study of Ardabil city). *Journal of Geography and Planning*, 17(45), 235-254. (In Persian)
- Tavakoli Naghme, M., Jasem Nejad, F. & Mahmoudi Chenari, H. (2022). Site locating suitable areas for rural landfill (Study area: Qasr Shirin city). *Journal of Environmental Research and Technology*, 7(11), 79-91. (In Persian)
- Nasiri, B., Yarmoradi, Z. & abbasnejan, J. (2017). Landfill location in Mako city by Fuzzy and Boulin method. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 7(24). (In Persian)
- Novriadi, H.P.M. & Darijanto, T. (2006). Applying Fuzzy Logic Method in mineral potential mapping for epithermal gold mineralization in the Island of flores, East Nusa Tenggara using geographical information systems (GIS). *Proceeding of 9th International Symposium on Mineral Exploration*, 62- 68.
- Pouramraei, R., Nesari, S. & Najmoddini, I. (2020). Site Selection of Koohdasht Municipal Solid Waste Landfill using ANP-WLC Integrated Model. *Environment and Water Engineering*, 6(2), 149-160.
<https://doi.org/10.22034/jewe.2020.233678.1368> (In persian)
- PourAhmad, A., Habibi, K., MohammadZahraee, S. & Nazari Adli, S. (2007). Using Fuzzy Algorithms and GIS for Locating City Equipment (Case Study: Babolsar City Landfill). *Journal of Environmental Studies*, 33(42). (In persian)
- Rezaei, M. & Jamshidi-Zanjani, M. (2017). Landfill Site Selection Using Combination of Fuzzy Logic and Multi Criteria Decision Making Method (Case Study: Arak, Iran). *Modares Civil Engineering Journal*, 17(2), 120-130 (In Persian)
- Talebi, M. S. (2023). Locating the waste landfill site of Bam city using multi-criteria decision making modeling in GIS environment. *Town and Country Planning*, 15 (2), 307-326.
<https://doi.org/10.22059/jtcp.2023.358604.670390>
 (In Persian)
- Tangestani, M. (2009). A comparative study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 35 (1), 66-73.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.01.002>
- Vafadoost, N., Mecanicee, J. & Ashrafee, A. (2017). Land zoning of Gonabad city for burying rural waste using network analysis method (ANP). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 5(1), 87-104.
<https://doi.org/10.22067/geo.v5i1.51067> (In Persian)

Content

Investigating factors affecting the non-sustainable participation of rural communities in desertification projects (Case study: Garmsar city)

Pouria Qoobakhlo, Mohammadkia Kianian, Amin Salehpour Jam, Shima Nikoo

1-13

The site selection of check dams using machine learning model in Dehdar watershed

Mehdi Teimouri, Asghar Bayat, Ali Shahbazi, Omid Asadi Nalivan

14-29

Simulation of climate change scenarios using the CMIP6 models (Case study: Taleqan Watershed)

Parvin Mohammadi, Arash Malekian, Ali Selajegheh1, Mojtaba Nouri, Hamed Rafiei

30-51

Evaluation of interpolation methods in estimating the groundwater level (Case study: Razavi Khorasan plains)

Gholamhossein Akbari, Reza Barati, Iman Lotfi, Milad Seifi

52-67

Evaluating the tourism value of geomorphosites in arid areas (Case study: Salt domes of Semnan province)

Mansoorreh Dormohammadi, Hayedeh Ara, Mohammadkia Kianian, Amin Salehpour Jam

68-82

Waste disposal site location allocation using GIS and fuzzy overlay method (Case study: Birjand county)

Abbasali Rezapour, Saeid Deymevar

83-104



Integrated Watershed Management

Vol: 4, No: 3. Autumn 2024

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. 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. Mehdi Heydari (Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, University of Ilam, 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

Editor (English Version)

Editor (Persian Version)

Cover and Page Designer

Dr. Mehdi Heydari

Dr. Noredin Rostami

Dr. Noredin Rostami; Dr. Reza Omidipour

Dr. Reza Omidipour

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

Pajooresh Bolvd, Ilam- Iran

P.O. Box: **69317-516**

Telefax: **0843222703**

Email: **iwm@ilam.ac.ir**

Web Site: **www.iwm.ilam.ac.ir**



Ilam University



Iranian Rainwater Catchment Systems Association

Integrated Watershed Management



Ilam University

Vol: 4, No: 3. Autumn 2024

Online ISSN: 2783-4581

Investigating factors affecting the non-sustainable participation of rural communities in desertification projects (Case study: Garmsar city)

Pouria Qoobakhlo, Mohammadkia Kianian, Amin Salehpour Jam, Shima Nikoo

1-13

The site selection of check dams using machine learning model in Dehdar watershed)

Mehdi Teimouri, Asghar Bayat, Ali Shahbazi, Omid Asadi Nalivan

14-29

Simulation of climate change scenarios using the CMIP6 models (Case study: Taleqan Watershed)

Parvin Mohammadi, Arash Malekian, Ali Selajegheh, Mojtaba Nouri, Hamed Rafiei

30-51

Evaluation of interpolation methods in estimating the groundwater level (Case study: Razavi Khorasan plains)

Gholamhossein Akbari, Reza Barati, Iman Lotfi, Milad Seifi

52-67

Evaluating the tourism value of geomorphosites in arid areas (Case study: Salt domes of Semnan province)

Mansooreh Dormohammadi, Hayedeh Ara, Mohammadkia Kianian, Amin Salehpour Jam

68-82

Waste disposal site location allocation using GIS and fuzzy overlay method (Case study: Birjand county)

Abbasali Rezapour, Saeid Deymevar

83-104