نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال دوازدهم- شماره ۴۷- زمستان ۱۴۰۳ Vol. 12, No. 47, Winter 2025

اولویت‌بندی سناریوهای آبخیزداری تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (نمونه موردی: حوزه آبخیز دالکی)

رومینا سیاح نیا[۱]، الهام قاسمی زیارانی[۲*]، شاهرخ محمودی[۳]

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۷/۰۹
DOI: 10.22034/WMJI.2024.2037402.1082

چکیده

ایران نیز با توجه به موقعیت جغرافیایی خود تحت تأثیر این پدیده و آثار نگران‌کننده آن قرارگرفته است. بدین لحاظ، پدیده تغییر اقلیم و لزوم سازگاری با آن، باید به‌عنوان یک واقعیت، پذیرفته‌شده و در برنامه‌ریزی‌های کشور و مدیریت بخش آب لحاظ شود. این مطالعه جایگزین‌های مدیریت آبخیز را توسعه می‌دهد که می‌تواند مزایای سازگاری بهینه با تغییرات آب‌وهوایی را تحت سناریوهای مختلف آب‌وهوایی تضمین کند. سناریوهای سازگار با تغییرات آب‌وهوایی از طریق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مقایسه و اولویت‌بندی شدند. سپس با استفاده از روش واسپاس زیر حوضه‌های آبریز دالکی در خصوص به‌کارگیری روش‌های جایگزین و سناریوهای پیش‌بینی‌شده اولویت‌بندی شدند. بر اساس نظر کارشناسان ۸ هشت سناریو نصب ادوات اندازه‌گیری برداشت آب و کنتورهای هوشمند (S1)، استفاده از روش‌های آبخیزداری برای ذخیره آب (S2)، تغییر الگوی کشت (S3)، تغییر زمان کشت (S4)، توسعه روش‌های نوین آبیاری (S5)، معرفی انواع محصولات جدید (S6)، ایجاد تعادل میان تغذیه و برداشت از طریق تمهیدات غیر سازه‌ای و سازه‌ای (S7) و استفاده مجدد از آب و جایگزینی پساب برای مصارف کشاورزی (S8) برای سازگاری حوزه آبریز با تغییر اقلیم معرفی شدند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده زیر حوضه ۸-۲-۲-٤ در رتبه اول و زیر حوضه ۹-۲-۲-٤ به لحاظ به‌کارگیری معیارها در اجرای جایگزین‌های سازگاری با تغییر اقلیم در رتبه آخر قرار دارد.

واژگان کلیدی: ***تغییرات اقلیمی، روش سلسله مراتبی، زیر حوزه آبریز، دالکی، واسپاس.***

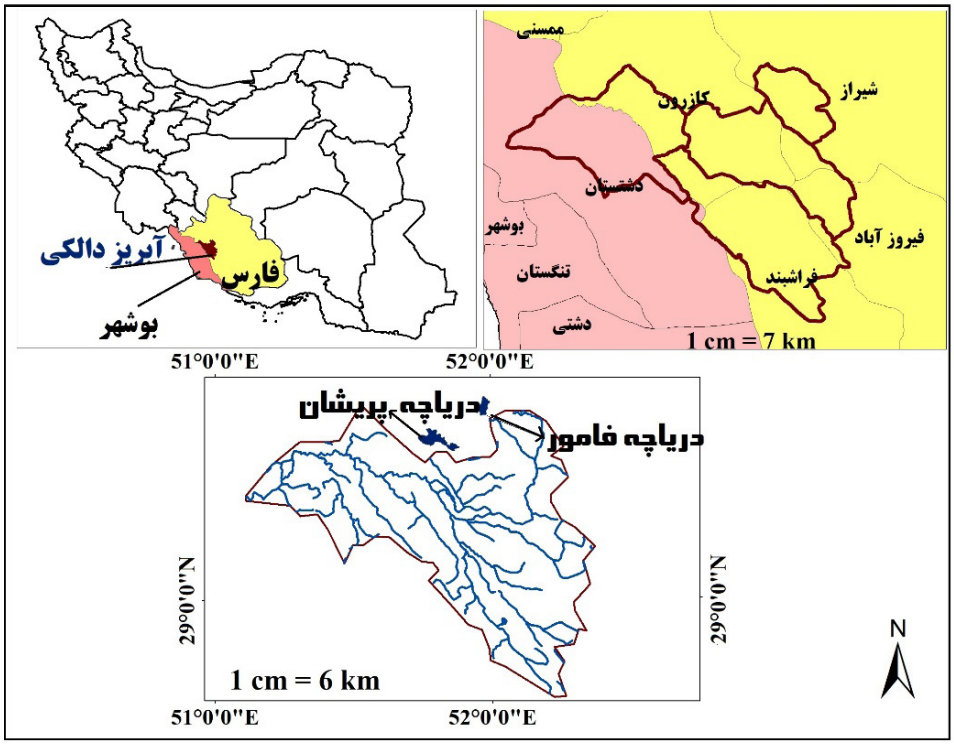
مقدمه

شیوه‌های مدیریت آب معاصر با چالش‌های تغییرات آب‌وهوایی قابل‌قبول در چندین منطقه از جهان سازگار نیست [۳]. درنتیجه، اجماع قوی وجود دارد که در هنگام اخذ تصمیمات مدیریت منابع آب باید اطلاعات تغییرات آب‌وهوا را در نظر بگیرند [۲]. بااین‌حال، در چندین منطقه از جهان، استراتژی‌های سازگاری آب‌وهوای موجود بر اساس داده‌های تاریخی آبی-اقلیمی توسعه داده شده‌اند که در آن استراتژای‌های کمی برای محافظت از اثرات تغییرات آب‌وهوایی آینده وجود دارد [۱]. استراتژی‌های مختلف سازگاری با تغییرات اقلیمی که سناریوهای تغییرات آب‌وهوایی آینده را در نظر می‌گیرند، برای تطبیق طیف گسترده‌ای از شرایط تغییرات آب‌وهوایی ضروری هستند [٤]؛ بنابراین، مجموعه‌ای از گزینه‌های سازگار با اقلیم قوی برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی آینده و اثرات شدید آب‌وهوا موردنیاز است [۷].

علاوه بر این، طراحی سامانه‌های مدیریت آب که می‌توانند با اثرات تغییر آب‌وهوا مقابله کنند، به دلیل عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های تغییرات آب‌وهوا، چالش‌برانگیز است [٦]. عدم قطعیت‌ها می‌تواند از مفروضات در سناریوهای توسعه اجتماعی-اقتصادی آینده و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط، مفهوم‌سازی GCMها و روش‌های کاهش مقیاس ناشی شود [۸]. عدم قطعیت در مدل‌های آب‌وهوایی می‌تواند استفاده مستقیم از خروجی‌های مدل‌های اقلیمی برای توسعه استراتژی‌های سازگاری را محدود کند [۱۲]. برای پرداختن به عدم قطعیت‌ها، مجموعه‌ای از چندین خروجی مدل آب‌وهوایی تولیدشده با استفاده از سناریوهای آب‌وهوایی متعدد توصیه‌شده است [۱۲، ۹ و ۱۱]. علاوه بر این، سناریوهای اقلیمی با عدم قطعیت کم برای توسعه استراتژی‌های سازگاری آب‌وهوایی قوی ضروری هستند که می‌توانند مزایای بهینه را از کاهش اثرات تغییرات آب‌وهوایی آینده ارائه دهند [۱۵، ۱٤ و ۱۰].

علاوه بر عدم قطعیت در علم تغییرات آب‌وهوا، توسعه یک سیاست سازگاری قوی با تغییرات آب‌وهوایی نیز تحت تأثیر مبادلات بین اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی است [۵]؛ بنابراین، تصمیمات

۱- استادیار گروه برنامه ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشجوی دوره دکتری، گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، علوم و مهندسی محیط زیست، تهران، ایران و نویسنده مسئول: Email: ghasemielham2023@gmail.com
۳- دانشجوی دوره دکتری،گروه مهندسی محیط زیست منابع آب، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.



شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه

انطباق با تغییرات آب‌وهوا باید پاسخ‌های اجتماعی، فناوری و نهادی را برای تضمین پایداری بلندمدت متعادل کند [۱۲]. درنتیجه، ذی‌نفعان مربوطه در همه سطوح باید برای اطمینان از سیاست‌های سازگاری آب‌وهوا که فراتر از نسل‌ها هستند، درگیر شوند [۱۰]. برای این منظور، سامانه‌های پشتیبان تصمیم می‌توانند نقشی حیاتی برای اطلاع‌رسانی حسابداری متعادل از عوامل محیطی و اقتصادی ایفا کنند. سامانه‌های تجزیه‌وتحلیل تصمیم چند معیاره (MCDA) به‌عنوان رویکردهای حیاتی برای توسعه استراتژی‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی در نظر گرفته‌شده‌اند که می‌توانند عوامل اقتصادی، محیطی و اجتماعی را برای اطمینان از مزایای بهینه در بر گیرند [۱۸]. سامانه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره امکان مقایسه معیارهای مختلف اما رقیب و انتخاب بهترین گزینه‌ها را فراهم می‌کند [۱٤].

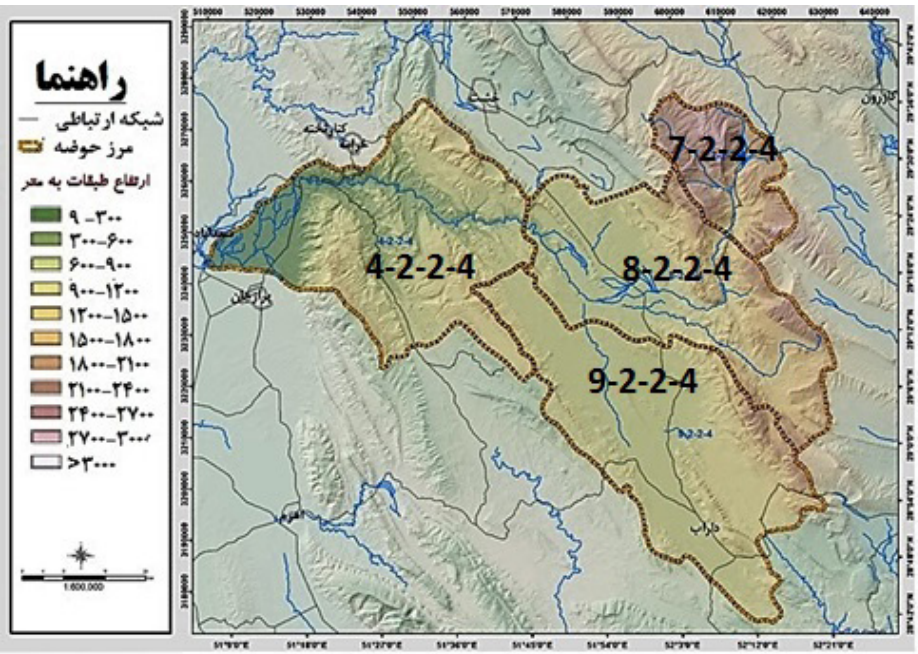
بنابراین، این مطالعه می‌تواند به برنامه‌های ملی سازگاری آب‌وهوای در ایران کمک کند تا از طریق ادغام سناریوهای اقلیمی، ارزیابی تأثیر تغییرات آب‌وهوایی هیدرولوژیکی، تنظیمات بیوفیزیکی و کشاورزان، گزینه‌های سازگاری بهینه آب‌وهوا را شناسایی کنند. دیدگاه‌های کارشناسان در پی تغییرات آب‌وهوایی این مطالعه هم‌چنین نشان می‌دهد که سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه حوزه آبخیز در دالکی باید به‌طور کامل از سناریوهای تغییر اقلیم قوی استفاده کند و برنامه‌ریزی حوزه آبخیز حساس را محقق کند زیرا در طی سال‌های اخیر این رودخانه دچار کم‌آبی شده است. به گفته مدیرکل امور آب استان بوشهر، عوامل اصلی خشک شدن این رودخانه خشک‌سالی‌های پیاپی، تغییر اقلیم و هم‌چنین برداشت آب از بالادست رودخانه دالکی یعنی قسمت‌های واقع‌شده در استان فارس که بیش‌تر آن صرف آبیاری مزارع کشت برنج و شالی‌کاری می‌شود، می‌باشد.

مواد و روش

موقعیت منطقه موردمطالعه

حوزه آبریز دالکی یکی از زیر حوضه‌های خلیج‌فارس و دریای عمان است که مابین استان‌های فارس و بوشهر در ایران واقع‌شده است. این حوضه از طرف شمال به حوزه آبریز شاپور، از غرب به ادامه حوضه دالکی (در استان بوشهر) از جنوب به رودخانه شور فیروزآباد و از شرق به حوزه آبریز قره‌آغاج محدودشده است (شکل ۱). مساحت سطح آبریز این حوضه در استان فارس در حدود ۳۰۵۵ کیلومترمربع می‌باشد. رودخانه اصلی آن، رودخانه دالکی می‌باشد که یکی از دوشاخه عمده رودخانه حله بوده و بخش خاوری حوزه آبریز رودخانه حله را تشکیل می‌دهد. این حوضه در محدوده جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۷ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ٦ دقیق تا ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی با مساحتی در حدود ۳۹۰۰ کیلومترمربع واقع‌شده است.

حداقل ارتفاع در منطقه ۱٦۸ متر و در قسمت اعظم منطقه مشاهده می‌شود. حداکثر ارتفاع نیز ۳۰۸۳ متر است که در قسمت شمال شرقی منطقه موردمطالعه مشاهده می‌شود. نقشه طبقات ارتفاعی در حوزه آبریز دالکی نشان می‌دهد که ارتفاع در بازه بین ۹ تا ۳۰۸۳ متر قرار دارد و اختلاف ارتفاع کمی بیش از ۳۰۰۰ متر است. البته متوسط ارتفاع در حدود ۱۰۸۹ متر بوده و انحراف از معیار نیز برابر با ۵۵۹ متر است. این ارقام نشاند می‌دهد که ازلحاظ ارتفاعی مورفولوژی



شکل ۲: نقشه طبقات ارتفاعی و زیر حوضه‌های رودخانه دالکی

حوزه آبریز بشدت متغیر بوده و به‌طور پیوسته این تغییرات قابل تمیز است. میانگین بارندگی در ایستگاه دشت ارژن ٦٩٧/٤ میلی‌متر و در ایستگاه کازرون برابر با ٣٩٦/٢ میلی‌متر بوده است.

حداکثر بارندگی در فصل آذرماه دیده می‌شود که در ایستگاه دشت ارژن این میزان برابر با ۲۰۳/۱ میلی‌متر در ایستگاه شیراز برابر با ۱۰۸ میلی‌متر و در ایستگاه کازرون حداکثر بارندگی در فصل دی‌ماه و برابر با ۹۰/۲ میلی‌متر است.

روش تحقیق

انواع داده‌ها و منابع

۱. داده‌های آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی

داده‌های اقلیمی مشاهده‌شده برای ایجاد سناریوهای آب‌وهوایی پایه، سناریوهای اقلیمی آینده و سناریوهای تأثیر آب‌وهوای هیدرولوژیکی موردنیاز بود؛ بنابراین، داده‌های مشاهده‌شده (١٣٨٤ تا ١٤٠٢) بارندگی روزانه، T تابش خورشیدی، آفتاب، سرعت باد و رطوبت نسبی نه ایستگاه آب‌وهوایی حوضه از ایستگاه دشت ارژن تهیه گردید.

۲. داده‌های بیوفیزیکی

داده‌های مکانی که شامل داده‌های شیب، بافت خاک و کاربری زمین است از منابع مختلف به‌دست‌آمده است. نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با وضوح ۳۰ متر که از مأموریت توپوگرافی رادار شاتل (SRTM) به دست آمد، تهیه شد. نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۲۲ از تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج‌شده است. طبقه‌بندی تصاویر نظارت‌شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال برای تهیه نقشه کاربری اراضی انجام شد. داده‌های خاک که شامل بافت خاک و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است از سازمان آب‌وخاک شیراز به‌دست‌آمده است.

داده‌های مدیریت زمین و آب

سازه‌های مدیریت زمین و آب مانند تراس‌ها و دیگر سازه‌های فیزیکی مدیریت خاک و آب که از دهه ۱۳۸۰ در حوزه آبخیز دالکی اجرا شدند، از طریق تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و بررسی‌های میدانی شناسایی شدند.

داده‌های کیفی

داده‌ای کیفی از طریق مصاحبه با کشاورزان و کارشناسان منابع طبیعی و آبخیزداری جمع‌آوری شد. چهار حوضه نمونه برای پوشش تمام طبقات ارتفاعی زیر حوضه انتخاب شدند (شکل ۲). سپس از مصاحبه‌شوندگان خواسته شد تا گزینه‌های مدیریت آبخیزداری که می‌تواند مزایای بهینه سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی، به‌ویژه تغییرات آب‌وهوایی که با کاهش بارندگی و در دسترس بودن آب مشخص می‌شود، ارائه دهند. از کارشناسان منابع طبیعی استان فارس که با منطقه آشنایی داشتند، خواسته شد تا معیارها و گزینه‌های مدیریت آبخیز برای سازگاری با تغییرات اقلیمی را شناسایی کنند. جایگزین‌های آبخیزداری که اغلب توسط کشاورزان و کارشناسان پیشنهاد می‌شوند، در معرض مقایسه و وزن‌دهی زوجی قرار گرفتند. به‌طور مشابه، معیارهایی که اغلب توسط کارشناسان پیشنهاد می‌شود برای وزن دهی در نظر گرفته‌شده است. بااین‌حال، تنها متخصصان برای وزن دادن به گزینه‌ها و معیارها از طریق مقایسه دوبه‌دو در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مشارکت داشتند.

برای اولویت‌بندی سناریوها در زیر حوضه‌ها از روش واسپاس استفاده‌شده است. دلیل انتخاب این روش سهولت استفاده و قابل‌درک بودن این روش می‌باشد. برای وزن‌دهی گزینه‌ها از نظرات ۳۰ کارشناس و خبره در این زمینه استفاده شد.

نتایج

در ابتدا معیارها و ویژگی‌های که برای انتخاب گزینه‌های جایگزین برای سازگاری آب‌وهوا مورداستفاده قرار گرفتند با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان در این زمینه مشخص گردیدند که شامل کمک به کاهش سیل و فرسایش خاک، کمک به حفظ آب، میزان پذیرش جامعه، سهم اقتصاد، ارزان (کار و هزینه)، شباهت با برنامه اقدام ملی سازگاری آب‌وهوا و در دسترس بودن و سادگی فنّاوری مشخص گردیدند. سپس این گزینه‌ها و معیارها با استفاده از روش سلسله‌مراتبی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند (جدول ۱).

در تجزیه‌وتحلیل تصمیم چند معیاره، مشارکت در حفظ آب اولویت‌دارترین معیار برای انتخاب گزینه‌های مدیریت آبخیز برای سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی در حوضه دالکی است. کمک به کاهش سیلاب و فرسایش خاک و کمک به اقتصاد از دیگر معیارهای مهم است. در بین معیارها، وزن کم‌تری به معیار یعنی «انسجام جایگزین موردنظر با اهداف و سایر برنامه‌های توسعه» داده می‌شود. معیار یعنی ارزان بودن فناوری ازنظر پول و نیروی کار نیز وزن کم‌تری به خود اختصاص داده است. این ممکن است به دلیل دسترسی خوب به نیروی کار برای آبخیزداری در منطقه موردمطالعه باشد. به عبارتی سناریوهای انتخابی برای سازگاری با تغییر اقلیم باید در ابتدا کمک به کاهش سیلاب و فرسایش و اقتصاد منطقه و کشاورزان داشته باشد.

بر اساس نظر کارشناسان ۸ سناریو نصب ادوات اندازه‌گیری برداشت آب و کنتورهای هوشمند (S1)، استفاده از روش‌های آبخیزداری برای ذخیره آب (S2)، تغییر الگوی کشت (S3)، تغییر زمان کشت (S4)، توسعه روش‌های نوین آبیاری (S5)، معرفی انواع محصولات جدید (S6)، ایجاد تعادل میان تغذیه و برداشت از طریق تمهیدات غیر سازه‌ای و سازه‌ای (S7) و استفاده مجدد از آب و جایگزینی پساب برای مصارف کشاورزی (S8) برای سازگاری حوزه آبریز با تغییر اقلیم معرفی شدند.

جدول ۱: تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولویت‌بندی معیارهایی که برای انتخاب گزینه‌های جایگزین برای سازگاری آب‌وهوا

	کمک به کاهش سیل و فرسایش خاک	کمک به حفظ آب	میزان پذیرش جامعه	سهم اقتصاد	ارزان (کار و هزینه)	شباهت با برنامه اقدام ملی سازگاری آب‌وهوا	در دسترس بودن و سادگی فنّاوری	وزن AHP
کمک به کاهش سیل و فرسایش خاک	۱	۱/۲	۲	۳	۵	۷	۵	۲٤/۹
کمک به حفظ آب	۲	۱	۳	۳	۵	۷	٤	۳۱/٤
میزان پذیرش جامعه	۱/۲	۱/۳	۱	۱/۳	۳	۵	۲	۱۱/۵
سهم اقتصاد	۱/۳	۱/۳	۳	۱	۵	٤	٤	۱۷/٤
ارزان (کار و هزینه)	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۵	۱	۲	۱/۳	٤/٤
شباهت با برنامه اقدام ملی	۱/۷	۱/۷	۱/۵	۱/٤	۱/۲	۱	۱/۳	۳
در دسترس بودن و سادگی فنّاوری	۱/۵	۱/٤	۱/۲	۱/٤	۳	۳	۱	۷/۳

جدول ۲: ماتریس رتبه‌بندی زوجی و وزن گزینه‌ها بر اساس AHP

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	AHP
S1	۱	۲	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۳۲/۷
S2	۱/۲	۱	۵	٤	۵	۵	۵	۳	۲٤/۸
S3	۱/۵	۱/۵	۱	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۳/۵
S4	۱/۵	۱/۵	۳	۱	۱/۳	۲	۲	۲	۸/۹
S5	۱/۵	۱/۵	۲	۲	۱	۵	۲	۳	۱۲/۳
S6	۱/۵	۱/۵	۲	۱/۲	۱/۵	۱	۱/۳	۱/۲	٤/٤
S7	۱/۵	۱/۵	۲	۱/۲	۱/۲	۳	۱	۲	۷/۳
S8	۱/۵	۱/٤	۳	۱/۲	۱/۳	۲	۱/۲	۱	٦/۲

تجزیه‌وتحلیل تناسب پوشش وزنی ۸ سناریو نشان داده است نصب ادوات اندازه‌گیری برداشت آب و کنتورهای هوشمند (S1) با وزن ۳۲/۷ در رتبه اول، استفاده از روش‌های آبخیزداری برای ذخیره آب (S2) با وزن ۲٤/۸ در رتبه دوم، توسعه روش‌های نوین آبیاری (S5) با وزن ۱۲/۳ در رتبه سوم قرار دارد. تغییر الگوی کشت (S3) با وزن ۳/۵ در رتبه آخر قرار دارد. در مرحله بعد این هشت سناریو را با ویژگی‌ها و خصوصیات گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم (جدول ۱) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت (جدول ۳).

وزن هر جایگزین تحت هر معیار نیز مقایسه شد. رتبه‌بندی اولویت کلی (جدول ۳) نشان داد که نصب ادوات اندازه‌گیری برداشت آب و کنتورهای هوشمند (S1) جایگزین برای ایجاد انعطاف‌پذیری برای آب‌وهوای آینده هستند. بعضی از معیارها، به‌عنوان‌مثال سهمی در اقتصاد (۰/۱۱۵)، وزن زیادی به سایر جایگزین‌ها دارند. یعنی تغییر محصول و معرفی گونه‌های گیاهی جدید نسبت به ساختارهای برداشت آب به دلایل اقتصادی دارای ارزش و وزن بیش‌تری هستند.

در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار آنلاین واسپاس به اولویت‌بندی این ۸ سناریو در جهت سازگاری با تغییر اقلیم در هریک از زیر حوضه‌های آبریز دالکی پرداخته شد. روش واسپاس (WASPAS) یکی از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چند شاخصه است؛ که در سال ۲۰۱۲ توسط زاوادسکاس و همکاران در پژوهشی معرفی شد. این روش ترکیبی از دو مدل WSM مدل مجموع وزنی و WPM مدل ضرب وزنی می‌باشد. این روش دارای دقت بیش‌تر در مقایسه با روش‌های مستقل است.

این روش همانند روش‌های آراس، کوپراس، تاپسیس و یا ویکور است؛ یعنی شامل ماتریس معیار-گزینه می‌باشد؛ و برای رتبه‌بندی گزینه‌ها نیازمند وزن معیارها است. این وزن معیارها می‌توان از روش AHP یا روش‌هایی نظیر آنتروپی شانون، آنتروپی خاکستری و یا روش جدید بهترین بدترین (BWM) محاسبه کرد. پرسش‌نامه روش واسپاس نیز دقیقاً همانند پرسش‌نامه تاپسیس و یا ویکور است؛ یعنی همان پرسش‌نامه هست بدون هیچ تغییری.

در این مرحله نمره هرکدام از ۸ سناریو بر اساس گزینه‌های جایگزین برای هر زیر حوضه محاسبه‌شده است، به این معنا که

جدول ۳: وزن نهایی هر گزینه جایگزین با توجه به ویژگی‌های آن

	کمک به کاهش سیل و فرسایش خاک ۰/۱۷٤	کمک به حفظ آب ۰/۳۱٤	میزان پذیرش جامعه ۰/۲٤۹	سهم اقتصاد ۰/۱۱۵	ارزان (کار و هزینه) ۰/۰٤٤	شباهت با برنامه اقدام ملی سازگاری آب‌وهوا ۰/۰۳	در دسترس بودن و سادگی فنّاوری ۰/۰۷۳	وزن
S1	۰/۱۰۵	۰/۲۱٦	۰/۲۳۱	۰/۱۱۹	۰/۲۵٦	۰/۲۰۲	۰/۲۳۸	۱۹/۲
S2	۰/۲۳٦	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	۰/۲۲۹	۰/۱۲۱	۰/۱۲۹	۰/۱۰٤	۱۰/۲
S3	۰/۱۲۲	۰/۲۸۹	۰/۲۸۲	۰/۱۵۰	۰/۲۱٤	۰/۲٦۹	-/۲۳۸	۲۳/٤
S4	۰/۰۷۸	۰/۰٦۰	۰/۰٦۸	۰/۰۷۰	۰/۰٦۸	۰/۰٥٤	۰/۰٥۰	٦/٦
S5	۰/۰٦۰	۰/۱٦٤	۰/۱٤۹	۰/۰٤٦	۰/۰۷۰	۰/۰٥۱	۰/۰۷۳	۱۱/٤
S6	۰/۲۱۹	۰/۰۳۸	۰/۰۳۲	۰/۲۲۹	۰/۱۳۸	۰/۱۳۵	۰/۱۳٦	۱۰/٤
S7	۰/۰٤۳	۰/۱۲۳	۰/۱۳۰	۰/۰۸۲	۰/۰٤٤	۰/۰٦۷	۰/۰۷۲	۹/۷
S8	۰/۱۳۷	۰/۰۷۸	۰/۰۷٦	۰/۰۷٤	۰/۰۸۸	۰/۰۹۲	۰/۰۹۰	۸/۹

جدول ٤: معیارهای نرمالیزه شده اولیه

زیر حوضه	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1
٤-۲-۲-۷	۰/٤۲٦	۰/۲۲۹	۰/٤۲٤	۰/۳۸۰	۰/٤۸۲	۰/٤۷۲	۰/٤٥۸	۰/٥۳۸
٤-۲-۲-۸	۰/٦۳۹	۰/٤٥۸	۰/٦۳۹	۰/٥۷۷	۰/٦٤۰	۰/٦۳۲	۰/٦۸۸	۰/۷۱۸
٤-۲-۲-۹	۰/٤۲٦	۰/٤٥۸	۰/٤۲۳	۰/۳۸٤	۰/۳۲۰	۰/٤۱۲	۰/۲۲۹	۰/۱۷۹
۲-۲-۲-٤	۰/٤۲٥	۰/۲۲۹	۰/٤۲٦	۰/۱۹۲	۰/٤۸۰	۰/٤۹۸	۰/٤٥۳	۰/۳٥۹

جدول ٥: واریانس مقادیر معیارهای نرمالیزه شده اولیه

زیر حوضه	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1
٤-۲-۲-۷	۰/۰۰۰٤٥	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰٤٥	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰٥۷	۰/۰۰۰٤۰	۰/۰۰۰٥۲	۰/۰۰۰۷۲٥
٤-۲-۲-۸	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰٥۳	۰/۰۰۱۰۲	۰/۰۰۰۸۳	۰/۰۰۱۰۲	۰/۰۰۰۹۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۲۹
٤-۲-۲-۹	۰/۰۰۰٤٥	۰/۰۰۰٥۲	۰/۰۰۰٤٥	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۲٥	۰/۰۰۰٤۰	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۸
۲-۲-۲-٤	۰/۰۰۰٤٥	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰٤۲	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰٥۷	۰/۰۰۰٤۰	۰/۰۰۰٥۲	۰/۰۰۰۰٤

میانگین امتیازات گویه‌های مربوط به هر شاخص ازنظر کارشناسان محاسبه شد و سپس از طریق حاصل جمع جواب کارشناسان، مقدار خام هر شاخص در هر گزینه در محیط اکسل محاسبه شد و ماتریس وضع موجود ترسیم شد. سپس وزن‌ها نرمالیزه شدند و ماتریس نرمال تهیه گردید که در جدول ٤ نشان داده شده است.

محاسبه واریانس‌های Q^2 (Q_i^1) و Q^2 (Q_i^2) در جدول ٦ قابل‌مشاهده است.

جدول ٦: واریانس‌های محاسبه‌شده برای گزینه‌ها

زیر حوضه	Q1	Q2
٤-٢-٢-٧	٠/٠٠٠٧٦	٠/٠٠٠٠١٩
٤-٢-٢-٨	٠/٠٠٠١٧٨	٠/٠٠٠٠٦٠
٤-٢-٢-٩	٠/٠٠٠٠٢٤	٠/٠٠٠٠٠٣
٢-٢-٢-٤	٠/٠٠٠٠٥٦	٠/٠٠٠٠١٦

بر اساس نتایج جدول ٧ زیر حوضه ٨-٢-٢-٤ در رتبه اول و زیر حوضه ٩-٢-٢-٤ به لحاظ به‌کارگیری معیارها در اجرای جایگزین‌های سازگاری با تغییر اقلیم در رتبه آخر قرار دارد.

جدول ٧: محاسبه مقدار (λ) و Q_i برای رتبه‌بندی مناطق

منطقه	λ	Qi	رتبه
٤-٢-٢-٧	٠/١٩٧	٠/٣٣٩	٢
٤-٢-٢-٨	٠/٢٥١	٠/٥٦١	١
4-٢-٢-٩	٠/١١١	٠/١٤٠	٤
٢-٢-٢-٤	٠/١٥٩	٠/٢٥٣	٣

بحث و نتیجه‌گیری

در حوضه تغییر اقلیم و تدوین برنامه‌های سازگاری با آن، توجه به دو اصل کلیدی شامل عدم قطعیت عمیق حاکم بر آثار این پدیده و هم‌چنین توجه به جنبه‌های اجتماعی سازگاری سامانه‌های منابع آب و کشاورزی (که بیش‌ترین آسیب‌پذیری را به این پدیده دارند) است. تحلیل آثار تغییر اقلیم به دلیل عدم قطعیت‌های عمیق حاکم بر آن، مسئله‌ای پیچیده است؛ بنابراین، لازم است برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران تحت این شرایط عدم قطعیت عمیق، تصمیم‌گیری کنند تا ضمن افزایش انعطاف‌پذیری برنامه‌های سازگاری، ریسک شکست آن‌ها را کاهش دهند. از طرفی توجه به جنبه‌های اجتماعی و لحاظ دیدگاه جهت ارزیابی مناسب راهکارهای سازگاری و جلب مشارکت مردمی در حل مسائل و بحران‌های آبی کنونی در شرایط تغییر اقلیم ضروری به نظر می‌رسد. برای ارزیابی اقدامات سازگاری با تغییر اقلیم می‌توان با بهره‌گیری از مدل تلفیقی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و رفتاری عوامل ذی‌نفع در مقیاس حوزه آبریز و با لحاظ عدم قطعیت‌های عمیق اقلیمی، امکان بررسی یکپارچه تأثیر اقدامات مختلف را فراهم آورد. نتایج چنین الگوهای یکپارچه‌ای اطلاعات مناسبی از نحوه پذیرش و رفتار ذی‌نفعان نسبت به اقدامات پیشنهادی مدیران و تصمیم‌گیران کلان فراهم می‌کند.

نتایج این تحقیق نشان داد که اقدام‌های تغییر الگوی کشت و تغییر زمان کشت اثرگذاری مطلوبی در بهبود پایداری منابع آب حوضه دارد، اما درصورتی‌که رفتار فعلی ذی‌نفعان (کشاورزان) مدنظر قرار گیرد، اثرگذاری آن‌ها کاهش می‌یابد این نتایج با مطالعات باتز و همکاران [١] مطابقت دارد. این مسئله حاکی از اثربخشی محدود این اقدام‌ها به دلیل نقش مباحث اجتماعی و الگوی رفتاری کشاورزان در اجرا و پذیرش این اقدامات است؛ بنابراین، اثربخش بودن دو اقدام سازگاری شامل تغییر زمان کشت و تغییر الگوی کشت و موفقیت آن‌ها در مرحله اجرا مستلزم برنامه‌های آموزش و فرهنگ‌سازی کشاورزان برای ترغیب آن‌ها به تغییر الگوی کشت و تغییر زمان کشت یا استفاده از اقدام تحکمی اعمال جریمه است. درصورتی‌که همکاری بین کشاورزان با برنامه‌های آموزش و فرهنگ‌سازی در جهت اجرای دو اقدام تغییر زمان کشت و تغییر الگوی کشت بهبود یابد و رفتار غالب حوضه از رقابتی به همکارانه تغییر یابد، آنگاه انتظار می‌رود پیاده کردن اقدام‌های تغییر کشت و تغییر الگوی کشت همکارانه به‌مراتب شرایط پایداری منابع را ارتقا دهد. در این شرایط هرچند استفاده از اقدام‌های تحکمی همچون اعمال جریمه ممکن است در کوتاه‌مدت اثرگذار باشد، اما در مقایسه باسیاست‌های آموزشی و فرهنگی به‌مراتب اثرگذاری کم‌تری در پایداری منابع آب دارد. ازاین‌رو ترغیب کشاورزان به فعالیت‌های همکارانه می‌تواند به‌عنوان کلیدی‌ترین برنامه پیشنهادی در کوتاه‌مدت و بلندمدت مدنظر قرار گیرد. اقدام‌های سازگاری ممکن است از سوی کشاورزان موردپذیرش قرار نگیرد و از طرفی نقش آثار بازگشتی این اقدام‌ها حائز اهمیت است؛ بنابراین ممکن است در اجرا اثرگذاری تئوریک خود را از دست بدهند که با نتایج تحقیق کندزیوز و همکاران [١٠] مطابقت دارد.

ضرورت ارزیابی اقدام‌های سازگاری با تغییر اقلیم توسعه ناپایدار و عدم توازن میان عرضه و تقاضای آب و تشدید آن در شرایط تغییر اقلیم ازجمله مسائل مهم در مدیریت منابع آب کشور محسوب می‌شود. در این راستا لزوم توجه به تدوین برنامه‌های سازگار با تغییر اقلیم در بخش آب و کشاورزی با توجه به ابعاد مختلف زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. با توجه به طیف گسترده آثار بالقوه تغییر اقلیم و درعین‌حال عدم قطعیت ذاتی آن‌ها، باید این برنامه سازگاری به شکلی تدوین شود که حداکثر انعطاف‌پذیری و آثار جانبی را دارا باشد. ازاین‌رو مسئله سازگاری با تغییر اقلیم و کم‌آبی در بسیاری از برنامه‌ها و اسناد بالادستی کشور موردتوجه قرارگرفته، اما ماهیت اثرگذاری و آثار جانبی این برنامه‌ها از منظر مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی با کم‌توجهی روبه‌رو شده درحالی‌که بررسی و ارزیابی تأثیر و تأثرات برنامه‌ها امری ضروری است.

منابع

1. Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S., and Palutikof, J. 2018. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, 210: 1-12.

2. Hallegatte, S. 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change. Global Environmental Change. 19: 240–247.

3. Haque, A.N. 2016. Application of multi-criteria analysis on climate adaptation assessment in the context of least developed countries. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 36: 121-133.

4. Herweg, K., and Ludi, E. 2019. The performance of selected soil and water conservation measures — case studies from Ethiopia and Eritrea. 36: 99–114.

5. Hurni, H. 2020. In: Erosion-Productivity-Conservation Systems in Ethiopia Conservation Systems in Ethiopia IV International Conference on Soil Conservation, 3-9: 1985.

6. Hurni, Berhe, W., Chadhokar, P., Daniel, D., Gete, Z., Grunder, M., and Kassaye, G. 2016. Soil and Water Conservation in Ethiopia: Guidelines for Development Agents. 27: 234-254.

7. IPCC, 2017. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

8. IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

9. Kuikman, R.S.G.J., Roetter, S.R.R.P. and Van Ierland, A.V.E.C. 2019. Adapting to climate change in The Netherlands : an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. Climatology Change. 95: 23–45.

10. Kundzewicz, Z.W., Krysanova, V., Benestad, R.E., Hov, Piniewski, M., and Otto, I.M. 2018. Uncertainty in climate change impacts on water resources. Environ. SciPolicy. 79: 1-8.

11. Lemann, T., Zeleke, G., Amsler, C., Giovanoli, L., Suter, H. and Roth, V., 2016. Modelling the effect of soil and water conservation on discharge and sediment yield in the upper Blue Nile basin, Ethiopia Geogrphy. 73: 89–101.

12. Malczewski, J. 2000. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. Journal GIS. 41: 5–22.

13. Malczewski, J. 2006. GIS based multicriteria decision analysis : a survey of the literature. Geogrphy. 20: 703–726.

14. Snover, A.K., Hamlet, A.F., and Lettenmaier, D.P. 2003. Climate-change scenarios for water planning studies. Pilot applications in the Pacific Northwest. Meteorol. 56: 1513–1518.

15. USAID, 2013. Analyzing Climate Change Adaptation Options Using Multi-Criteria Analysis.

16. WMO, 2009. Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation. Climate Data and Monitoring. World Meteorological Organization, Switzerland.

17. Yang, J., Chung, E., Kim, S., Kim, T. 2012. Prioritization of water management under climate change and urbanization using multi-criteria decision making methods. Hydrol. Earth System. 16: 801-814.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of
Watershed Management

Vol. 12, No. 47, Winter 2025 سال دوازدهم- شماره ۴۷- زمستان ۱۴۰۳

Abstract

Prioritization of Watershed Management Scenarios Under the Influence of Climate Change Using Multi-Criteria Decision-Making Method (Case Example: Dalki Watershed)

R. Sayahnia[1], E. Ghasemi Ziyarani[2]* and Sh. Mahmoudi[3]

Received: 2024/08/02 Accepted: 2024/09/30

Due to its geographical location, Iran has also been affected by this phenomenon and its disturbing effects. Therefore, the phenomenon of climate change and the need to adapt to it must be accepted as a reality and included in the country's planning and water sector management. This study develops watershed management alternatives that can ensure optimal climate change adaptation benefits under different climate scenarios. Climate change adaptation scenarios were compared and prioritized through a hierarchical analysis process. Then, using the WASPAS method, Dalki catchment sub-basins were prioritized regarding the use of alternative methods and predicted scenarios. According to the opinion of 8 experts, there are eight scenarios of installing water harvesting measuring devices and smart meters (S1), using watershed methods to store water (S2), changing the cultivation pattern (S3), changing the cultivation time (S4), developing new irrigation methods (S5). , introduction of new types of products (S6), creating a balance between feeding and harvesting through non-structural and structural arrangements (S7) and reusing water and replacing wastewater for agricultural purposes (S8) were introduced to adapt the watershed to climate change. Based on the obtained results, sub-basin 8-2-2-4 is in the first rank and sub-basin 9-2-2-4 is in the last rank in terms of applying criteria in the implementation of alternatives to adapt to climate change.

Keywords: Climate change, Watershed sub-basin, Hierarchical method, Dalkey, Waspas.

1. Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. PhD student, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. PhD student, Department of Environmental Engineering, Faculty of environment, University of Tehran, Tehran, Iran.