نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال سیزدهم- شماره ۵۰- پاییز ۱۴۰۴

Vol. 13, No. 50, Fall 2025

اولویت‌بندی راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره به روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای در استان کرمانشاه

مریم حافظ پرست مودت*[۱]، سعدی فتحی[۲]

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۱/۱۱ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۵/۱۹

DOI:/ 10.22034/WMJI.2025.2056931.1107

چکیده

در سال‌های اخیر افزایش بهره‌وری آب کشاورزی به‌عنوان راهبردی برای ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب، موردتوجه سیاست‌گذاران و کارشناسان حوضه آب قرارگرفته است. در سند ملی امنیت غذایی، بهره‌وری آب به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم مورد تأکید قرارگرفته است. بیلان مصرف آب زیرزمینی در استان کرمانشاه منفی بوده و کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی بیش از یک میلیارد مترمکعب است. در این میان، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش عمده‌ای از مصارف آب در ایران و جهان را نیز شامل می‌شود، می‌تواند مؤثر و راهگشا باشد. بدیهی است که یکی از مقدمات مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، شناسایی شاخص‌های اصلی مدیریت مصرف آب و تعیین این شاخص به روش‌های مناسب است. تصمیم‌گیری صحیح برای جبران فشار وارده بر منابع آب استان نیازمند شناخت راهکارها و اولویت‌بندی آن‌ها و پس‌ازآن در پیش گرفتن سیاست درست برای حل مسئله است. در این مطالعه ابتدا معیارها و گزینه‌های موردنظر برای رسیدن به هدف ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی شناسایی و سپس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای در محیط نرم‌افزار سوپر دسیژن مقایسه، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند. نتایج تحقیق نشان داد اولویت‌بندی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای با هم متفاوت بوده و در روش تحلیل سلسله‌مراتبی گزینه‌های تحویل حجمی آب، آموزش کشاورزان و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی به ترتیب بیش‌ترین وزن و در روش تحلیل شبکه‌ای گزینه‌های آموزش کشاورزان، واقعی کردن قیمت محصولات کشاورزی و تحویل حجمی آب به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب کشاورزی، تحلیل سلسله‌مراتبی، تحلیل شبکه‌ای تصمیم‌گیری چندمعیاره.

مقدمه

ایجاد تعادل بین منابع و مصارف و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مبتنی بر تقاضا و نه عرضه‌ی منابع جدید آب در بخش‌های مختلف مصرف آب ضروری است. در این میان، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش عمده‌ای از مصارف آب در ایران و جهان را نیز شامل می‌شود، می‌تواند مؤثر و راهگشا باشد. بدیهی است که یکی از مقدمات مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، شناسایی شاخص‌های اصلی مدیریت مصرف آب و تعیین این شاخص به روش‌های مناسب است. درگذشته افزایش تولید در بخش کشاورزی غالباً از طریق توسعه سطح زیر کشت توسعه افقی و تبدیل کردن اراضی دیم به آبی با استفاده از منابع آب جدید یا اضافه برداشت از منابع آب موجود صورت می‌گرفت. اتخاذ این رویکرد منجر به وارد آمدن فشار به منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی شده و بیلان منفی در اغلب محدوده‌های مطالعاتی کشور را رقم‌زده است. ارتقای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در درجه اول تلاش برای حفظ میزان تولید در سطح وضع موجود و سپس افزایش آن در جهت تأمین امنیت غذایی و یا به عبارتی توسعه عمودی تولید محصولات کشاورزی است. بهره‌وری میزان محصول تولیدشده یا ارزش اقتصادی متناظر آن به ازای مقدار آب مصرفی و از مهم‌ترین شاخص‌های کلیدی و رویکردهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به مصرف اصولی آب در بخش کشاورزی است. در این راستا، شاخص بهره‌وری آب به‌عنوان یکی از این مؤلفه‌ها در چند سال اخیر در برنامه‌ریزی‌های ملی شامل برنامه هفتم توسعه، سند ملی آمایش سرزمین و سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی موردتوجه ویژه قرارگرفته است. رویکرد وزارت جهاد کشاورزی به‌عنوان متولی این امر، از توسعه سطح زیر کشت اراضی آبی و اجرای سیستم‌های نوین آبیاری تحت‌فشار به افزایش بهره‌وری آب کشاورزی تغییر کرده است که از نشانه‌های آن می‌توان به انتشار سند بهره‌وری آب

۱- نویسنده مسئول،هیات علمی گروه مهندسی آب ،گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی،کرمانشاه، ایران Email:m.hafezparast@razi.ac.ir.

۲- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، داشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

کشاورزی در سال ۱۴۰۰ اشاره کرد که تفاهم‌نامه‌ای سه‌جانبه بین وزارت جهاد کشاورزی، اتاق بازرگانی و وزارت نیرو برای ارتقای این شاخص در یک افق ده‌ساله است [۵].

وضعیت کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی و بیلان دشت‌های استان کرمانشاه نشان می‌دهد به دلیل محقق نشدن تحویل حجمی آب و نصب نشدن دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان در نقاط تحویل آب، سیاست تغییر روش آبیاری و اعطای یارانه به متقاضیان اجرای سیستم‌های نوین آبیاری در طول سه دهه گذشته، توفیق چندانی در ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب در آبخوان‌ها نداشته است [۲]. بر اساس آخرین آماربرداری شرکت مدیریت منابع آب ایران میزان کل مصرف آب شامل کشاورزی، شرب و صنعت در استان کرمانشاه ۱۸۹۱ میلیون مترمکعب بوده که از این میزان، ۱۶۴۷میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی استفاده می‌شود که معادل ۸۷ درصد از کل مصرف آب در استان می‌باشد. از طرفی از ۲۳ محدوده مطالعاتی استان، ۱۳ محدوده ممنوعه و ممنوعه بحرانی بوده و کسری تجمعی آبخوان‌های آب زیرزمینی بالغ بر یک میلیارد مترمکعب است [۲۰]. محققان متعددی در سالیان اخیر ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به‌عنوان یک راهکار عمدتاً، نه تماماً غیرسازه‌ای را در پژوهش‌های خود موردتوجه قرار داده‌اند. جوزی [۱۸] در پژوهشی تعیین نیاز آبی و بهره‌وری آب محصولات عمده زراعی شامل گندم، کلزا، چغندرقند و سیب‌زمینی در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه را موردبررسی قرار داد. برای انجام این پژوهش درمجموع ۱۴۵ مزرعه برای محصولات موردنظر انتخاب و در طول فصل رشد اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شد. نیاز آبی محصولات با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث و استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به مزارع منتخب، تعیین گردید. پس از برداشت محصول و تعیین عملکرد محصول و هزینه‌ها، مقادیر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات کلزا، چغندرقند، سیب‌زمینی و گندم در اقلیم‌های مختلف استان تعیین شد. اینانلو و همکاران [۱۶] در مطالعه‌ای باهدف بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب در کشاورزان نوآور در مقایسه با کشاورزان غیر نوآور به ترتیب عوامل "دیدگاه و نگرش جامع به کلیه عوامل موجود در زنجیره تولید"، "استفاده از دستگاه کارندِ مناسب" و "اجرای سامانه‌های آبیاری توسط کارشناسان مجرب" را به‌عنوان عوامل با بیش‌ترین امتیاز مثبت ارزیابی نمودند. در این پژوهش توصیه شد برای عملکرد بهتر کشاورزان به‌خصوص در نقاط ضعف آنان اقدامات فنی و زیربنایی و هم‌چنین ارتقای دانش موردنیاز آن‌ها در غالب کلاس‌های آموزشی و استفاده از اندوخته دانش کشاورزان نوآور موردتوجه واقع گردد. اسدی و همکاران [۳] در مطالعه‌ای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی محصولات زراعی و باغی در مزارع تحقیقاتی موسسه تحقیقات بذر و نهال در استان البرز را موردبررسی قرار دادند. کار و همکاران [۱۹] در تحقیقی دو ساله در مصر، بهره‌وری مصرف آب ذرت و گندم آبیاری شده به روش سطحی در مزارع زارعین را با شرایط ۳۰ درصد کم آبیاری و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه مورد مقایسه قرار داده و نتیجه گرفت که مصرف آب در ذرت در شرایط زارعین در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۴۶۰و ۶۴۰ مترمکعب بیش‌تر از نیاز آبی گیاه و کاهش عملکرد نیز به ترتیب هفت و هشت درصد بود. فانو همکاران [۹] بهره‌وری آب گندم و ذرت در شمال غربی چین را به ترتیب برابر ۱/۶۸–۰/۵۸ و ۱/۲–۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین نمودند. الواحد و همکاران [۷] بهره‌وری آب گیاه جو را در کشور مصر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. کارا و ستین بهره‌وری آب محصول پنبه در کشور ترکیه را ۰/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری اقتصادی آب را ۰/۱۹ دلار آمریکا بر مترمکعب در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی گزارش نمودند. با توجه به اهمیت اجرای سامانه‌های نوین آبیاری در ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی، نیسی و همکاران [۲۳] با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی[1] به اولویت‌بندی این سامانه‌ها پرداختند. در این مطالعه با در نظر گرفتن معیارها و زیرمعیارها و با توجه به اولویت‌بندی معیارها به روش ساعتی و محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارهای انتخابی، سیستم‌های آبیاری امتیازبندی شد. در این تحقیق، دو معیار اقتصادی- اجتماعی و فیزیک مزرعه برای سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت‌فشار در منطقه دشت ایذه در نظر گرفته شد. معیار اقتصادی- اجتماعی به چهار زیرمعیار تجهیزات موجود در منطقه، هزینه، مهارت کارگران و فرهنگ و معیار فیزیک مزرعه به پنج زیرمعیار آب، اقلیم منطقه، خاک، توپوگرافی و محصول تقسیم‌بندی شدند. در ابتدا، معیارها و زیرمعیارها با توجه به جدول امتیازبندی سلسله‌مراتبی از یک تا نُه امتیازدهی شدند و پس از محاسبه میانگین هندسی وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها برای هر گزینه محاسبه و سپس، امتیازها وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شده و نقشه‌های خروجی برای هر سیستم به دست آمدند. درنهایت، سیستم آبیاری سطحی به‌عنوان سیستم مناسب دشت ایذه انتخاب شد. تعیین بهره‌وری فیزیکی محصولات زراعی و باغی موضوع تحقیق دیگری ازجمله جلینی و همکاران [۱۷]، بوده‌است. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در اولویت‌بندی راهکارهای حل مسائل مختلف حوضه مدیریت منابع آب موضوع مطالعات متعددی بوده‌است. زمانی و همکاران [۳۱] مطالعه‌ای باهدف انتخاب منابع آبی جایگزین برای تأمین آب بندرعباس در بلایای سیل با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام دادند. پس از انتخاب و پیشنهاد منابع آب جایگزین برای بندرعباس در سیل، معیارهای فرعی با استفاده از تکنیک D تحلیل شبکه‌ایی[2] (ترکیب تحلیل شبکه‌ایی ودیمیت[3]) سنجیده و منابع آب با تکنیک ویکور[4] اولویت‌بندی شدند. با توجه به ساختار شبکه و وابستگی داخلی و خارجی معیارها و زیرمعیارها، از مزایای تحلیل

1. Analytic Hierarchy Process
2. Analytic network process
3. DEMATE
4. VIKOR

شبکه‌ایی در محاسبه وزن برای تطبیق بیش‌تر با مسائل دنیای واقعی استفاده‌شده است. پس از بررسی و استخراج معیارها از مطالعات مختلف، نه معیار اصلی و ٤٤ زیرمعیار برای انتخاب منابع آب در بلایا و شرایط اضطراری تعریف شد. بر اساس مطالعات میدانی و اطلاعات سازمان‌های مرتبط، منابع آبی پیشنهادی بندرعباس برای استفاده در بلایای سیل خلیج‌فارس، دشت سرخون و تصفیه‌خانه فاضلاب بندرعباس است. بنی‌حبیب و شبستری [٤] با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی را با استفاده از نظرات ۳۵ متخصص ایرانی اولویت‌بندی نمودند. در این پژوهش روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و ام تاپسیس[1] با هم ترکیب و نتایج نشان داد آموزش کشاورزان، بهبود الگوی کشت و تسطیح و تجهیز اراضی کشاورزی بالاترین رتبه را در راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی داشتند. حسنوند آتشگاه و همکاران [۱۲] در مطالعه‌ای الگوی تصمیم‌گیری در شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای را موردبررسی قرار دادند. در این پژوهش، ابتدا معیارها و شاخصه‌ها با روش دلفی به هشت معیار اصلی طبقه‌بندی‌شده و سپس با روش تحلیل شبکه‌ای و سلسله‌مراتبی اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد که در هر دو روش، اولویت معیارهای اصلی یکسان بوده و معیار سیاسی و امنیتی، بهداشتی و درمانی و زیست‌محیطی در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند.در روش تحلیل سلسله مراتبی، ارجحیت گزینه‌های انتقال باهدف تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعتی و محیط زیستی به ترتیب ٥٦، ۱۷، ١٦ و ۱۱ درصد است ولی در تحلیل شبکه‌ایی گزینه آب شرب با ٥٦ درصد در رتبه نخست بوده و آب صنعتی با ۱۸ درصد، آب کشاورزی با ١٤ درصد و آب محیط زیستی با ۱۲ درصد به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، بیانگر دقت و واقع‌بینانه‌تر بودن نتایج روش تحلیل شبکه‌ایی در اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای است. طباطبایی و همکاران [۲۹] در مطالعه‌ای سیاست‌های راهبردی استحصال حقابه رودخانه را به روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ایی اولویت‌بندی نمودند. در این تحقیق طبق نظر کارشناسان در قالب ۲۰ پرسشنامه و بر اساس پنج معیار و ۱۲ راهبرد اولویت‌بندی و طبق نتایج به‌دست‌آمده اولویت‌ها در هر دو روش مشابه هم گزارش شد.

نایبی و همکاران [۲۲] در این پژوهش، به‌منظور تعیین مناسب‌ترین سیستم آبیاری برای اراضی کشاورزی حکم‌آباد در تبریز، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. سیستم‌های موردبررسی شامل روش‌های آبیاری بارانی (نظیر کلاسیک ثابت، جابه‌جایی دستی، آب‌فشان چرخ‌دار، قرقره‌ای، دوار مرکزی و خطی)، روش‌های آبیاری موضعی (مانند تیپ، قطره‌ای، مه‌پاش و بابلر کم‌فشار) و روش‌های آبیاری سطحی (شامل غرقابی، کرتی، نواری، نشتی مکانیزه و نشتی) بودند. معیارهای ارزیابی شامل جنبه‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی، اجرایی، بهره‌برداری، زیست‌محیطی و گردشگری کشاورزی بودند.

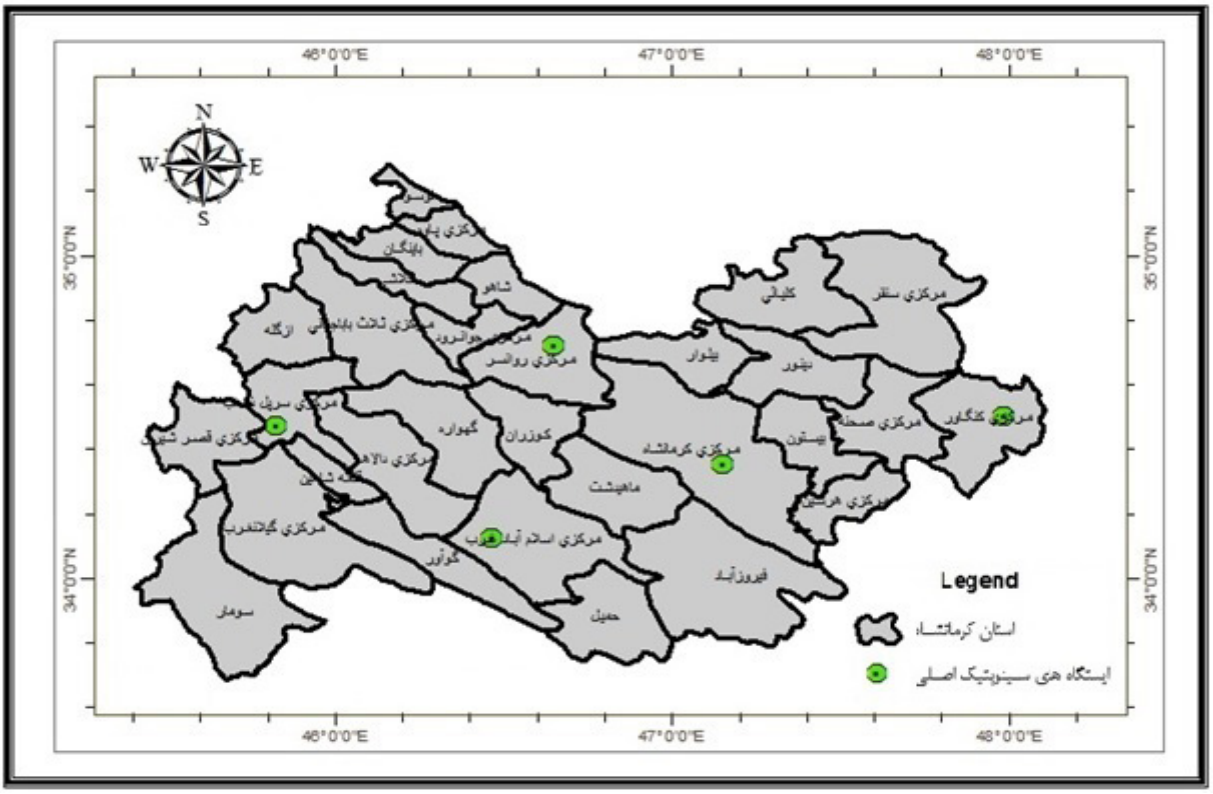
نتایج تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار گردشگری کشاورزی و زیرمعیار جذابیت گردشگری بیش‌ترین تأثیر را در انتخاب سیستم آبیاری داشتند، درحالی‌که معیار فنی و زیرمعیار امکان خودکارسازی کم‌ترین نقش را ایفا کردند. بر اساس این ارزیابی، سیستم آبیاری کرتی با امتیاز ٦/٥٣ به‌عنوان گزینه برتر انتخاب شد. هم‌چنین، در بین روش‌های آبیاری بارانی، سیستم کلاسیک ثابت با امتیاز ٤/٣٤ و در بین روش‌های آبیاری موضعی، سیستم تیپ با امتیاز ۳/۸۲ به‌عنوان گزینه‌های جایگزین برای این منطقه پیشنهاد شدند.

حسینی [۱۳] در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی برای آبیاری بارانی، مقایسه‌ای بین روش پارامتریک سنتی و تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. نتایج روش پارامتریک نشان داد که ۳۱ درصد از اراضی (۱۵۹۷/۸۳ هکتار) در کلاس کاملاً مناسب قرار دارند، درحالی‌که در روش فازی هیچ منطقه‌ای را در این کلاس دسته‌بندی نکرد. هم‌چنین، روش فازی با کاهش سطوح تناسب حذف کلاس ۱S و افزایش اراضی با تناسب ۳S و نامناسب دقت بالاتری در ارزیابی نشان داد. این تفاوت معنادار، برتری روش‌های فازی را در مدل‌سازی پیوسته و واقع‌نگرانه‌تر تناسب اراضی تأیید می‌کند.

ویسی و همکاران [۳۰] با به‌کارگیری چارچوب یکپارچه ساختار–کنشگر–آب و روش تحلیل سلسله مراتبی به بررسی ترجیحات ذینفعان در انتخاب سیستم‌های آبیاری پایدار در استان اردبیل پرداخته است. داده‌های تحقیق از طریق پرسشنامه ساختاریافته از ٦۰ ذینفع کلیدی شامل متخصصان، کشاورزان، کارشناسان ترویج و نمایندگان سازمان‌های غیردولتی کشاورزی جمع‌آوری شد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار با کسب ٦۹ درصد آراء، گزینه برتر ذینفعان برای دستیابی به پایداری کشاورزی بوده است. در این میان، شاخص‌های اقتصادی–اجتماعی شامل اشتغال و درآمد با وزن نسبی ٢٦ درصد، بهره‌وری با۲۰ درصد، بهبود کیفیت زندگی با ١٦ درصد و توسعه کشاورزی با ١٤ درصد بیش‌ترین تأثیر را در فرآیند تصمیم‌گیری داشته‌اند. نکته قابل‌توجه، همگرایی چشمگیر در دیدگاه‌های گروه‌های مختلف ذینفع به‌استثنای متخصصان می‌باشد. نتایج این مطالعه به‌وضوح کارایی چارچوب ساختار–کنشگر–آب را در تلفیق ابعاد فنی و اجتماعی–اقتصادی تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت آب نشان می‌دهد و بر ضرورت توجه هم‌زمان به این ابعاد در تدوین سیاست‌های توسعه سیستم‌های آبیاری پایدار تأکید می‌کند. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان مبنایی علمی برای برنامه‌ریزی‌های آتی در حوضه مدیریت منابع آب کشاورزی مورداستفاده قرار گیرد.

حسین زاده و همکاران [١٤] یک رویکرد چند رشته‌ای برای کاهش مشکلات منابع آب در زمینه‌های آبیاری، تأمین آب، انرژی و کنترل سیلاب ارائه دادند که از ترکیب مدل هیدرولوژیکی با تحلیل چندمعیاره تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. منطقه موردمطالعه در شمال

1. MTOPSIS



شکل ۱: موقعیت شهرستان‌های استان کرمانشاه

افغانستان واقع‌شده که با چالش‌های جدی آبی مواجه است.

ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT[1]) برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی به کار گرفته شد. مدل با استفاده از داده‌های ماهانه جریان رودخانه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ کالیبره و اعتبارسنجی گردید. وضعیت فعلی آبیاری حوضه آبخیز بر اساس نیاز آبی محصولات و مساحت اراضی موردبازنگری قرار گرفت تا کمبودهای آبی موردبررسی قرار گیرد. نتایج بررسی‌ها به ارائه یک راهکار مهندسی (احداث سد) برای تنظیم و کنترل جریان آب، به‌ویژه در فصل زمستان و دوره‌های سیلابی منجر شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس نظرات کارشناسان برای تعیین مکان‌های مناسب احداث سد استفاده گردید. سپس سد به مدل SWAT اضافه شد تا ارزیابی اثرات آن انجام پذیرد.

ظرفیت مخزن سد (۱۹۷۹۰۰۹۳۸ مترمکعب)، مساحت ذخیره آب (۷۴۸ هکتار)، ارتفاع سد (۶۹ متر)، ظرفیت تولید برق (میانگین ۲۵/۴ مگاوات، حداقل ۱۶/۲۳ مگاوات، حداکثر ۶۶/۵ مگاوات) و توانایی محافظت در برابر سیلاب برآورد شد. درنهایت، تحلیل هزینه–فایده برای اطمینان از امکان‌سنجی پروژه انجام شد که تأییدکننده قابلیت اجرا و کارایی پیشنهاد بود.

آب مازاد می‌تواند کمبودهای آبی را برطرف نموده و امکان آبیاری ۱۷۱۸۰۵ هکتار زمین اضافی یا تأمین آب شهر مزار شریف (چهارمین شهر بزرگ افغانستان) را فراهم آورد. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای تصمیم‌گیرندگان در حوضه رودخانه بلخاب در توسعه آینده راهبردهای مدیریت منابع آب مورداستفاده قرار گیرد.

با توجه به مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در بهره‌وری آب کشاورزی اهمیت و وزن مصرف آب در بخش کشاورزی، اتخاذ راهکارهای مدیریت مصرف آب و از طرفی حفظ سطح تولید محصولات کشاورزی از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو در استان کرمانشاه بوده و شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در برگیرنده این دو جنبه متضاد (کاهش مصرف آب و افزایش تولید) بوده و اهمیت ویژه‌ای در تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مدیریت منابع آب و تولید محصولات کشاورزی خواهد داشت. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی راهکارهای مختلفی دارد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد و اولویت‌بندی این راهکارها پیش‌شرط و مقدمه‌ای ضروری برای تصمیم‌گیری صحیح در حوزه آب و کشاورزی است. لذا هدف از انجام این پژوهش اولویت‌بندی راهکارهای مختلف و بعضاً متباین افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در استان کرمانشاه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ایی) است.

1. Soil and Water Assessment Tool

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

استان کرمانشاه با وسعتی بالغ بر ۲۵ کیلومترمربع در غرب کشور و در موقعیت جغرافیایی ۴۱' و ۳۳° تا ۱۷' و ۳۵° عرض شمالی و ۲۴' و ۴۵° تا ۵۰' و ۴۸° طول شرقی قرارگرفته است. این استان از شمال به استان کردستان، از شرق به استان همدان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، و نهایتاً از غرب به کشور عراق محدود می‌گردد. مرکز این استان، شهر کرمانشاه است. بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی اخذشده از وزارت کشور، استان کرمانشاه از ۱۴ شهرستان تشکیل‌شده است. بزرگ‌ترین شهرستان استان، شهرستان کرمانشاه با وسعتی بالغ بر ۵۷۴۷۳۷ هکتار و کوچک‌ترین آن، شهرستان جوانرود با مساحت ۷۶۲۱۷ هکتار است. جمعیت استان بر اساس نتایج آماربرداری نفوس و مسکن ۱۳۹۵ برابر ۱۹۵۲ هزار نفر و متوسط بارندگی بلندمدت استان ۴۸۶ میلی‌متر می‌باشد. در شکل ۱، موقعیت شهرستان‌های استان، ملاحظه می‌گردد.

منابع و مصارف آب در استان کرمانشاه

منابع آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی استان به تفکیک آب سطحی و زیرزمینی مطابق جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱: منابع آب قابل‌برنامه‌ریزی کشاورزی استان به تفکیک آب سطحی و زیرزمینی به میلیون مترمکعب

بخش	آب سطحی	آب زیرزمینی	جمع
کشاورزی	۱۴۲۱	۵۶۳	۱۹۸۴

بر اساس نتایج آماربرداری دور دوم شرکت آب منطقه‌ای، وضعیت برداشت منابع آب زیرزمینی و سطحی در استان کرمانشاه به تفکیک بخش‌های مصرف‌کننده به شرح جدول ۲ بوده‌است [۲۰].

جدول ۲: الگوی مصرف منابع آب سطحی و زیرزمینی در استان کرمانشاه به میلیون مترمکعب

نوع مصرف	آب سطحی	آب زیرزمینی	جمع
کشاورزی	۸۰۷	۸۴۰	۱۶۴۷
شرب و بهداشت	۲۸	۱۶۹	۱۹۷
صنعت و خدمات	۹/۴	۳۲/۳	۴۱/۷
جمع کل	۸۴۴/۴	۱۰۴۱/۳	۱۸۸۵/۷

منابع آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات است. منابع آب سطحی نیز حقابه از سد و رودخانه‌های فصلی و دائمی را شامل می‌شود. همان‌گونه که از جدول استنباط می‌شود سهم بخش کشاورزی از مصرف سالانه آب استان ۸۷/۳ درصد، شرب و بهداشت ۱۰/۴، و صنعت و خدمات ۲/۳ درصد می‌باشد. بررسی جداول منابع و مصارف آب کشاورزی استان نشان می‌دهد که تراز مصرف آب زیرزمینی در استان کرمانشاه برابر ۲۷۷- میلیون مترمکعب بوده که ادامه بیلان منفی آبخوان‌های استان پیامدهای زیان‌بار زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی به همراه خواهد داشت. لذا یکی از مهم‌ترین راهکارهای ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب زیرزمینی اصلاح الگوی مصرف آب کشاورزی است. بهره‌وری آب را به دو شیوه می‌توان تعریف کرد؛ بهره‌وری بیوفیزیک آب برحسب نسبت تولید محصول به کیلوگرم به ازای هر واحد آب مصرفی به مترمکعب، و بهره‌وری اقتصادی آب به‌عنوان ارزش محصولات تولیدشده به دلار آمریکا به ازای هر واحد آب مصرفی به مترمکعب تعریف می‌شود [۲۴]. لازم به ذکر است در شرایط و اولویت‌های متفاوت، از شاخص‌های دیگری هم برای اندازه‌گیری بهره‌وری آب کشاورزی استفاده می‌شود به‌عنوان‌مثال در جوامعی که چالش اصلی جامعه فقر و گرسنگی است شاخص بهره‌وری را برابر نسبت کالری تولیدشده مواد غذایی به ازای آب مصرفی در نظر می‌گیرند. گزارش بهره‌وری تهیه‌شده توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، میزان بهره‌وری فیزیکی کل محصولات کشاورزی استان را ۱/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کرده است [۱]. سند بهره‌وری آب وزارت جهاد کشاورزی هدف برنامه ده‌ساله ارتقای بهره‌وری فیزیکی آب تولیدات گیاهی را ارتقای این شاخص از ۱/۱ به ۲/۲ هدف‌گذاری نموده است. در برنامه یادشده مهم‌ترین چالش‌های پیش روی ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به شرح ذیل گزارش‌شده است:

- نظام خرد بهره‌برداری از منابع آب و زمین که امکان کشت مکانیزه و برنامه‌ریزی کلان را برای بخش کشاورزی بسیار دشوار کرده است.
- راندمان پایین تأمین، انتقال، توزیع و مصرف آب کشاورزی
- کاهش نزولات جوی و تغییر اقلیم (افزایش درجه حرارت، خشک‌سالی، پراکندگی نامناسب بارش‌ها)
- الگوی کشت نامتناسب با شرایط اقلیمی استان
- پایین بودن میزان ماده آلی خاک در اراضی کشاورزی استان
- آموزش ناکافی کشاورزان در بهره‌برداری از سیستم‌های نوین آبیاری
- عدم نصب سازه‌های اندازه‌گیری حجمی آب بر روی منابع آب زیرزمینی و سطحی
- کمبود منابع مالی موردنیاز جهت انجام طرح‌های زیربنایی آب‌وخاک
- کمبود صنایع تبدیلی و بسته‌بندی محصولات باغی و زراعی در استان
- وضع معیشتی نامناسب کشاورزان که باعث بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌وخاک و تخریب و آلودگی این منابع شده است.
- پایین بودن ضریب مکانیزاسیون در استان
- ضایعات بالای محصولات کشاورزی در مراحل مختلف

برداشت، بسته‌بندی، حمل تا بازار مصرف و انبارداری و نگهداری محصولات

- وجود واسطه‌ها در بازار فروش محصولاتی که مشمول خرید دولتی نمی‌شوند.

اسماعیلی خوش‌مردان [۸] در مطالعه‌ای بهره‌وری آب و آسیب‌شناسی مدیریت آن در بخش کشاورزی کشور را بررسی نمود. در این تحقیق چالش‌های موجود در زمینه بهره‌وری آب کشاورزی ایران به این شرح ارائه‌شده است: فقدان الگوی کشت مشخص در کشور، عدم توافق در میان سیاست‌گذاران کشور برای تعیین قیمت واقعی آب در بخش کشاورزی، وجود ضایعات زیاد در بخش کشاورزی، در اولویت بودن سدسازی در کشور برای تأمین آب و برق برای مصارف شهری و صنعتی، تحویل غیرحجمی آب در اکثر شبکه‌های آبیاری کشور، کوچک بودن مالکیت اراضی کشور و عدم یکپارچگی اراضی، فقدان پوشش مناسب نهرها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور به‌منظور استفاده مناسب از جریان‌های بازگشتی آب و جلوگیری از نشت آب، تخریب اراضی آبی کشور در طی سال‌های اخیر، عدم انطباق روش‌های آبیاری با شرایط آب، خاک و نیاز واقعی گیاه در اقلیم، عدم تمایل بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در این بخش به دلیل کنترل قیمت محصولات توسط دولت و عدم دانش کافی اغلب کشاورزان در استفاده از روش‌های علمی در کشاورزی و غالب بودن دیدگاه‌های سنتی در میان آنان. در این تحقیق بامطالعه پژوهش‌های انجام‌شده و مشکلات ۱۳ گانه ذکرشده که در حاصل جمع‌بندی نظرات خبرگان بخش‌های تحقیقی و اجرایی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه است، معیارهای موردنظر برای ارزیابی راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی، معیارهای اقتصادی–اجتماعی، فن‌آوری، مدیریتی– سیاست‌گذاری و زیست‌محیطی در نظر گرفته شد.

پس از کسب نظرات کارشناسی نهادهای ذی‌ربط (دانشگاه رازی، جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و استانداری) راهکارهای دیگر ازجمله ایجاد پایگاه داده‌های صحیح و کافی منابع آب‌وخاک، افزایش ماده آلی خاک و انجام کشاورزی حفاظتی اضافه و نهایتاً گزینه‌های نهایی به شرح تحویل حجمی آب، اصلاح الگوی کشت، اصلاح قیمت‌گذاری آب، قیمت‌گذاری صحیح محصولات کشاورزی، ایجاد نظام‌های بهره‌برداری آب و کشاورزی، تکنیک‌های به‌نژادی و به‌زراعی، افزایش ضریب مکانیزاسیون، اجرای کشت حفاظتی، ایجاد پایگاه داده‌های آب و کشاورزی، آموزش بهره‌برداران، توسعه کشت گلخانه‌ای، یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی تهیه و تدوین و مورد ارزیابی و اولویت‌بندی قرار گرفت. تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] یکی از دقیق‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری است که با استفاده از روش‌های مختلف جبرانی و غیرجبرانی پس از تشکیل ماتریس‌های تصمیم‌گیری و روش‌های متنوع وزن‌دهی، گزینه بهینه را انتخاب می‌کند. در این پژوهش از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جبرانی تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ایی استفاده‌شده است [۱٤].

1. MCDM

روش تحلیل سلسله مراتبی

یکی از تکنیک‌های قدرتمند تصمیم‌گیری است که در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ساعتی [۲۵] ارائه شد. این روش برای تسهیل در درک یک مسئله آن را به اجزای آن با ساختاری سلسله‌مراتبی تجزیه و رتبه‌بندی می‌کند و سپس با مقایسات زوجی و روش میانگین هندسی وزن‌دهی کرده و نتایج اولویت‌بندی را ارائه می‌کند [۱۱].

تشکیل ماتریس مقایسات زوجی در اندازه ($n \times n$) برای مسئله و نحوه نمره دهی به آن در جدول (۳) ارائه‌شده است. برای پر کردن مقایسات زوجی، مقیاس یک تا نُه استفاده می‌شود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عنصر دیگر، در رابطه با آن ویژگی، مشخص شود.

جدول ۳: مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی

ترجیحات	مقادیر عددی
کاملاً مرجح، کاملاً مطلوب‌تر	۹
اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح، کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	**۲و٤و٦و۸**

جهت بهبود مجموعه ماتریس‌های مقایسات زوجی به $n(n-1)$ قضاوت احتیاج است که متقابلاً به‌صورت خودکار در هر یک از مقایسات زوجی حاصل می‌گردد. با استفاده از یکی از روش‌های میانگین هندسی یا حسابی، وزن نسبی برای هرکدام از پارامترها محاسبه می‌گردد. در این تحقیق از روش میانگین هندسی استفاده‌شده است. سپس باید سازگاری ماتریس را تعیین نمود (معادلات ۱ تا ۳). اگر ماتریس سازگار نبود باید مقایسات زوجی را مجدداً انجام داد تا زمانی که ماتریس سازگار شود.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \times w_j}{w_t} \qquad (۱)$$

جایی که λ_max بزرگ‌ترین یا اصلی‌ترین مقدار ویژه (بردار ویژه اصلی) است، و n اندازه ماتریس است، aij عناصر ماتریس مقایسه زوجی هستند، و wj و wi به ترتیب عناصر j و i بردار ویژه هستند. بنابراین، به‌عنوان یک قاعده کلی، اگر نسبت سازگاری کم‌تر یا مساوی ۰/۱۰ باشد، نتایج قابل‌قبول در نظر گرفته می‌شود و تمام داده‌های به‌دست‌آمده بدون نیاز به تکرار فرآیند، قابل‌استفاده خواهند

بود.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۲)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۳)$$

روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای

ویرایش سطح بالاتری از روش تحلیل سلسله مراتبی است که توسط توماس ساعتی [۲۶] ارائه‌شده است. در سال‌های بعد تغییراتی در این روش اعمال شد و سرانجام در سال ۲۰۰۵ برای در نظر گرفتن اولویت‌های منفی مورد تجدیدنظر قرار گرفت [۱۰]. هدف روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای تحلیل شبکه‌ایی ساختارمند کردن فرآیند تصمیم‌گیری با توجه به یک سناریو متأثر از فاکتورهای چندگانه مستقل از هم است [٦]. در روش تحلیل شبکه‌ای در صورت وجود ارتباط داخلی بین عناصر تشکیل‌دهنده ساختار شبکه، این روش پاسخ‌هایی به‌مراتب بهتر و دقیق‌تر از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره عرضه می‌کند. روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای دارای ویژگی‌های مثبتی ازجمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور هم‌زمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت را دارا است. مهم‌ترین ویژگی مثبت این روش در ارزیابی و اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر، در نظر گرفتن ارتباطات پیچیده وابستگی‌های متقابل معیارهای اصلی و زیرمعیارها است [۱۲]. گام‌های انجام روش تحلیل شبکه‌ایی شامل ۱- معیارهای اصلی را بر اساس هدف باهم مقایسه زوجی کنید. ۲- زیرمعیارهای هر معیار را در خوشه خود مقایسه زوجی کنید. ۳- وزن معیارهای اصلی را بر اساس روابط درونی آن‌ها تعیین کنید. ٤- سوپر ماتریس اولیه را نرمال کنید تا سوپر ماتریس موزون به دست آید ٥- سوپر ماتریس اولیه را تشکیل دهید ٦- سوپر ماتریس حد را محاسبه کنید (معادله ٤). در این پژوهش از نرم‌افزار سوپردسیژن [۱۵] برای اولویت‌بندی راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی در استان کرمانشاه استفاده شد.

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{j1} & \cdots & W_{i1}^{jnj} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{ini}^{j1} & \cdots & W_{ini}^{jnj} \end{bmatrix} \quad (٤)$$

نرم‌افزار Super Decision

سوپردسیژن تنها نرم‌افزار آموزشی رایگانی است که تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ایی را پیاده‌سازی می‌کند و توسط تیم سازنده این روش، توماس ساعتی، توسعه‌یافته است. توسعه و نگهداری آن توسط بنیاد تصمیمات خلاق حمایت می‌شود. بنیاد تصمیمات خلاقانه در سال ۱۹۹٦ توسط توماس ال ساعتی و همسرش روزان ویتاکر ساعتی تأسیس شد. این بنیاد از آموزش، تحقیق و توسعه نرم‌افزار در روش‌های پیشرفته تصمیم‌گیری شامل تحلیل سلسله مراتبی حمایت می‌کند. تصمیم‌گیری گروهی در مورد مسائل اجتماعی، حل تعارض و بهینه‌سازی تخصیص منابع برای سازمان‌های خصوصی و دولتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این نرم‌افزار کمک شایانی برای مدیران و کارشناسان بخش‌های مختلف ارائه می‌کند. ازجمله مهم‌ترین قابلیت‌های مربوط به نرم‌افزار سوپر دسیژن، می‌توان به پیاده‌سازی مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ایی، تشکیل ارتباطات سلسله مراتبی و شبکه‌ای، محاسبه نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی و اصلاح نرخ‌ها، ایجاد خروجی گزارش مقایسات زوجی در نرم‌افزار اکسل، محاسبه سوپر ماتریس‌های اولیه، موزون و حدی، اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارهای مسئله، رتبه‌بندی گزینه‌های مسئله و اجرای تحلیل حساسیت بر روی مدل اشاره نمود[1].

نتایج و بحث

نتایج اولویت‌بندی به روش تحلیل سلسله مراتبی

ساختار سلسله‌مراتبی هدف، معیار، گزینه بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی به ترتیبی که در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود نظام‌مند و پس از وزن‌دهی به معیارها و گزینه‌ها و انجام مقایسات زوجی، نتایج خروجی شامل وزن نهایی گزینه‌ها مطابق شکل شماره ۳ به دست آمد.

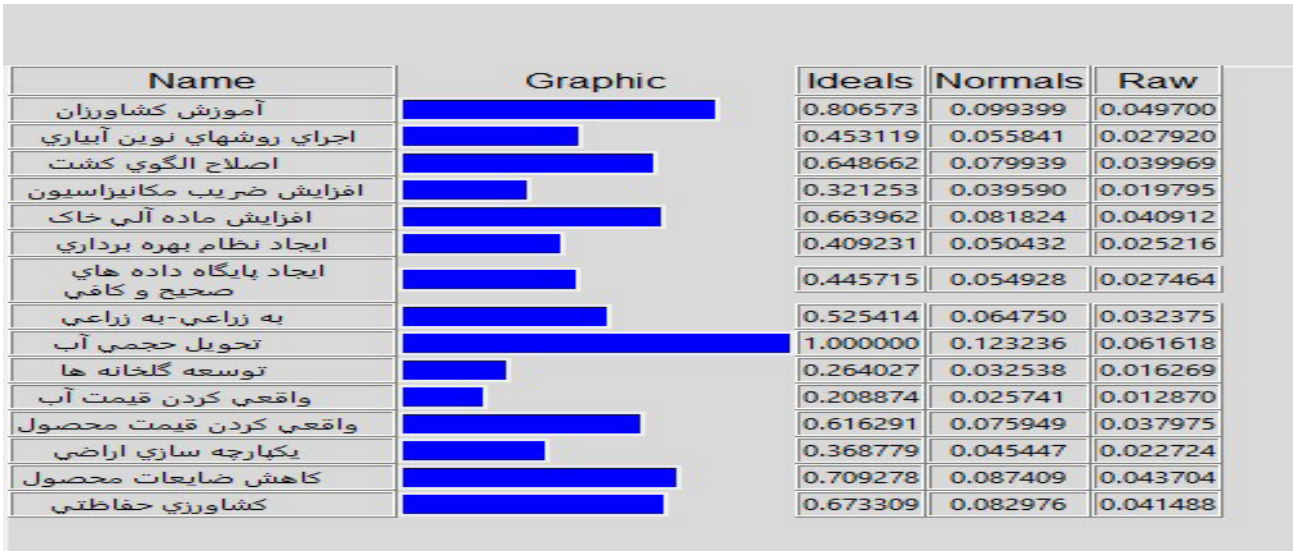
نتایج وزن‌دهی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد گزینه‌های تحویل حجمی آب، آموزش کشاورزان و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی به ترتیب بیش‌ترین وزن را در میان راهکارهای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی به خود اختصاص داده‌اند. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت راهکارهای غیرسازه‌ای در نظر کارشناسان پرسش‌شونده می‌باشد.

نتایج اولویت‌بندی به روش تحلیل شبکه‌ایی

در قدم بعدی خوشه‌بندی و وزن‌دهی به روش تحلیل شبکه‌ایی انجام شد. در روش تحلیل شبکه‌ایی دو خوشه اصلی شامل معیارها و گزینه‌ها ترسیم و مطابق شکل شماره ٤ ساختار شبکه‌ای مدل ایجاد گردید. تفاوت این روش با روش سلسله‌مراتبی در این است که اثرگذاری و اثرپذیری بین سطوح نیز اعمال می‌شود و سطوح پایین (گزینه‌ها) بر سطوح بالاتر یعنی معیارها در تعامل و تأثیر متقابل هستند. پس از مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها به روش تحلیل شبکه‌ایی نتایج خروجی مدل در شکل ٥ مشاهده می‌شود.

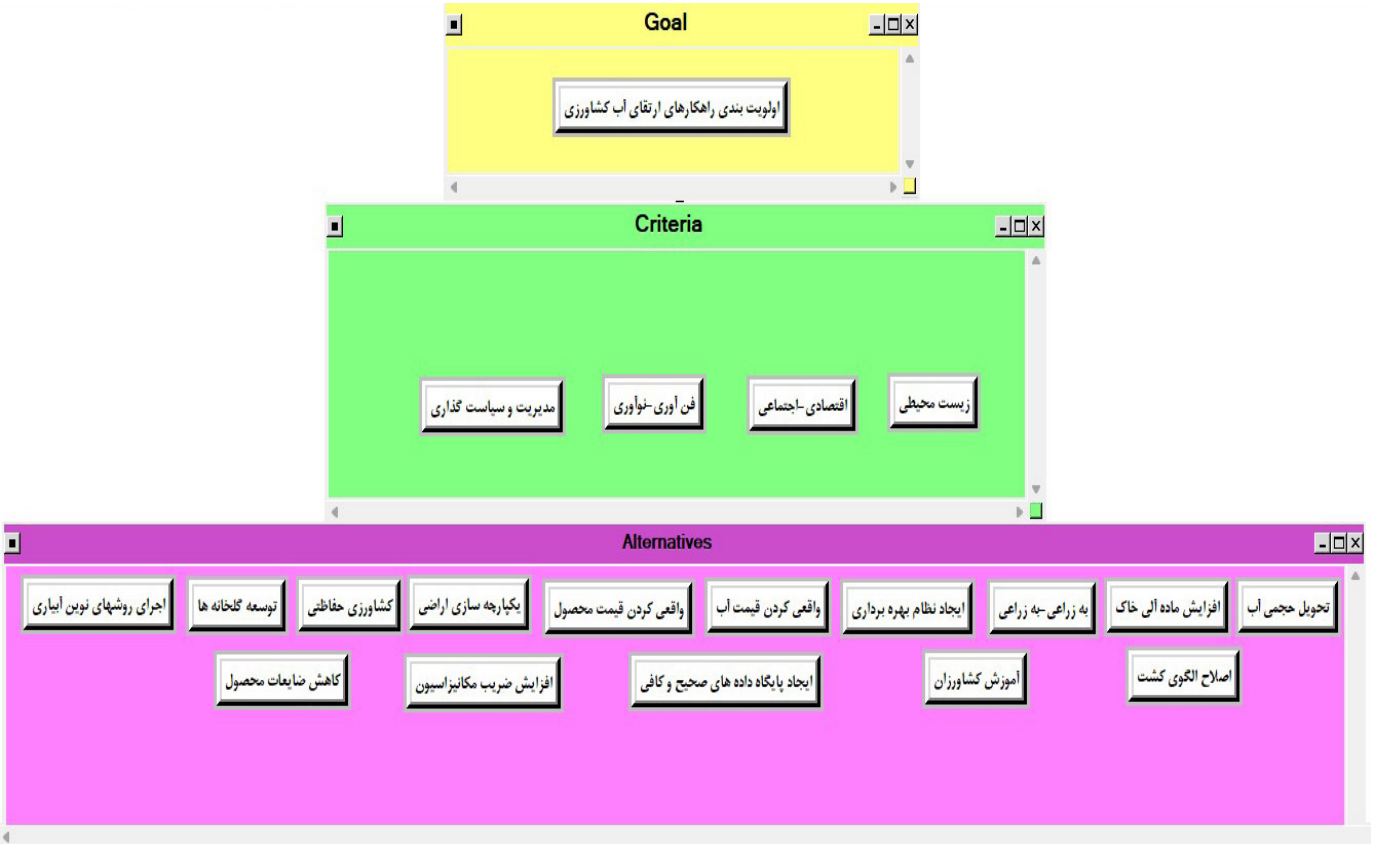
در روش تحلیل شبکه‌ای گزینه‌های آموزش کشاورزان، واقعی کردن قیمت محصولات کشاورزی و تحویل حجمی آب به ترتیب بیش‌ترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند که نتایج متفاوتی را نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد. برخلاف آنچه که درگذشته بر روند سیاست‌گذاری و نگاه غالب بر بخش‌های

1. https://www.superdecisions.com



Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
آموزش کشاورزان		0.806573	0.099399	0.049700
اجراي روشهاي نوين آبياري		0.453119	0.055841	0.027920
اصلاح الگوي كشت		0.648662	0.079939	0.039969
افزايش ضريب مكانيزاسيون		0.321253	0.039590	0.019795
افزايش ماده آلي خاک		0.663962	0.081824	0.040912
ايجاد نظام بهره برداري		0.409231	0.050432	0.025216
ايجاد پايگاه داده هاي صحيح و كافي		0.445715	0.054928	0.027464
به زراعي-به زراعي		0.525414	0.064750	0.032375
تحويل حجمي آب		1.000000	0.123236	0.061618
توسعه گلخانه ها		0.264027	0.032538	0.016269
واقعي كردن قيمت آب		0.208874	0.025741	0.012870
واقعي كردن قيمت محصول		0.616291	0.075949	0.037975
يكپارچه سازي اراضي		0.368779	0.045447	0.022724
كاهش ضايعات محصول		0.709278	0.087409	0.043704
كشاورزي حفاظتي		0.673309	0.082976	0.041488

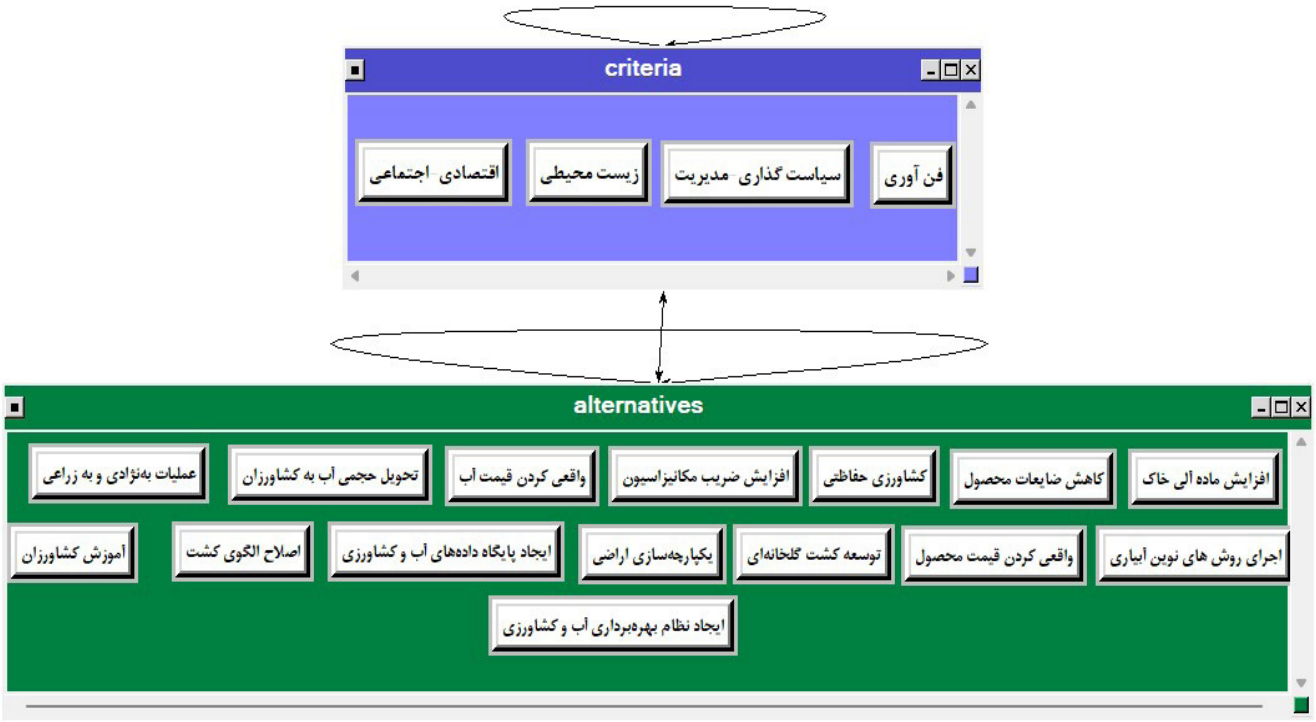
شکل ۲: ساختار هدف، معیار، گزینه به روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار Super Decision



شکل ۳: نتایج اوزان نهایی گزینه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی

کارفرمایی و اجرایی در کشور حاکم بود، نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان می‌دهد تمام گزینه‌های دارای بیش‌ترین وزن در هر دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، ازجمله راهکارهایی است که به دلیل رویکرد سازه محور غالب در دهه‌های گذشته کم‌تر موردتوجه بوده‌اند.

ارتقای سطح آگاهی بهره‌برداران بخش کشاورزی و تحویل حجمی آب به کشاورزان، گزینه‌ی مشترک بین هر دو روش وزن‌دهی بوده و این مسئله نشان‌دهنده اهمیت بالا و هم‌زمان تدوین و پیاده‌سازی برنامه‌های آموزشی و فرهنگی در خصوص مخاطرات بر هم خوردن تعادل منابع و مصارف و حفظ منابع به‌عنوان میراثی برای آیندگان می‌باشد. تحویل حجمی آب نیز در هر دو روش بین سه گزینه با بیش‌ترین وزن بوده و این مسئله اهمیت سنجش و



شکل ٤: نمودار معیارها و گزینه‌ها به روش تحلیل شبکه‌ایی در محیط نرم‌افزار Super Decision

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
آموزش کشاورزان		1.000000	0.202505	0.090427
اجراي روش هاي نوين آبياري		0.314811	0.063751	0.028467
اصلاح الگوی کشت		0.341872	0.069231	0.030914
افزایش ماده آلی خاک		0.278444	0.056386	0.025179
افزایش ضریب مکانیزاسیون		0.258463	0.052340	0.023372
ایجاد نظام بهره‌برداری آب و کشاورزی		0.279300	0.056559	0.025256
ایجاد پایگاه داده‌های آب و کشاورزی		0.222624	0.045082	0.020131
تحویل حجمی آب به کشاورزان		0.392850	0.079554	0.035524
توسعه کشت گلخانه‌ای		0.238358	0.048269	0.021554
عملیات به‌نژادی و به زراعی		0.190527	0.038583	0.017229
واقعی کردن قیمت آب		0.209909	0.042508	0.018981
واقعی کردن قیمت محصول		0.496702	0.100584	0.044915
کاهش ضایعات محصول		0.240441	0.048690	0.021742
کشاورزی حفاظتی		0.223425	0.045245	0.020204
یکپارچه‌سازی اراضی		0.250433	0.050714	0.022646

شکل ٥: نتایج اوزان نهایی گزینه‌ها به روش تحلیل شبکه‌ایی

پایش آب تحویلی به مصرف‌کنندگان را نشان می‌دهد. وزن بالای آموزش کشاورزان می‌تواند نشان‌دهنده اثرگذاری آن بر اثربخشی سایر گزینه‌ها ازجمله رعایت الگوی کشت، متقاعدشدن برای ایجاد نظام‌های بهره‌برداری جمعی و یکپارچه‌سازی کشاورزی ازنظر خبرگان باشد. هم‌چنین تحویل حجمی آب برافزایش میل به اجرای روش‌های نوین آبیاری و در پیش گرفتن راهکارهای کاهش مصرف آب چون کشت گلخانه‌ای و یا روش‌های حفظ رطوبت خاک ازجمله کشت حفاظتی و کم خاک‌ورزی اثرگذار بوده و وزن بالایی را به خود اختصاص داده است.

مقدار آبی که می‌تواند در ایران از طریق ارتقای بهره‌وری آبیاری ذخیره شود، حدود ۷ میلیارد مترمکعب است [۲۰]. حال‌آنکه مواد غذایی که هرگز خورده نمی‌شوند از ۲۵ درصد مصرف آب جهانی استفاده می‌کنند [۲۸]. درواقع یک‌چهارم آب مصرفی برای تولید غذا به دلیل ضایعات محصول در مراحل مختلف به‌طور کامل هدر می‌رود و بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، مصرف آب کشاورزی ۷۰ میلیارد مترمکعب است [۲۱] که میزان هدررفت آب مصرفی در بخش کشاورزی در اثر ضایعات محصول ۱۷ میلیارد مترمکعب می‌باشد که اهمیت گزینه کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در

ارتقای بهره‌وری با نتایج این تحقیق (اولویت‌بندی گزینه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی) همخوانی دارد.

واقعی کردن قیمت محصولات کشاورزی و خودداری از تحمیل قیمت‌های دستوری بر کشاورزان در نظر پرسش‌شوندگان از دیگر گزینه‌های دارای اهمیت بوده که این مسئله می‌تواند به افزایش بهره‌وری اقتصادی و درآمد کشاورزان منجر شود. هم‌چنین در هر دو روش اصلاح الگوی کشت در رده چهارم گزینه‌های افزایش بهره‌وری قرارگرفته که نشان‌دهنده اهمیت پرهیز از کشت محصولات آب‌بر و نامتناسب با اقلیم استان است.

نتیجه‌گیری

ضرورت ایجاد و حفظ امنیت غذایی و امنیت آبی به‌طور هم‌زمان و محدودیت منابع آبی به‌ویژه در منابع آب زیرزمینی، افزایش بهره‌وری آب کشاورزی را در کشورمان به امری گریزناپذیر بدل نموده است. اسناد بالادستی کشور از قبیل سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی، سند ملی آمایش سرزمین، برنامه ملی سازگاری باکم آبی و پیش‌نویس برنامه پنج‌ساله هفتم توسعه، به‌ضرورت افزایش بهره‌وری کشاورزی توجه ویژه نموده‌اند. رسیدن به این هدف مهم مستلزم شناسایی معیارها و راهکارهای حل مسئله و تصمیم‌گیری مدیران اجرایی کشور و تدوین برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت است. تصمیم‌گیری چندمعیاره ابزاری مؤثر برای اولویت‌بندی معیارها و گزینه‌های چندگانه در اختیار محققان و دستگاه‌های اجرایی قرار داده است. در این پژوهش اولویت‌بندی راهکارهای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در استان کرمانشاه با توجه به منابع و مصارف آب استان و با استفاده از تحقیقات پیشین و نظرات خبرگان، با دو روش تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ایی موردمطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد راهکارهای اقتصادی- اجتماعی مانند آموزش کشاورزان و واقعی کردن قیمت محصولات کشاورزی، اهمیت بالایی در جلب مشارکت مردمی و ایجاد بستر مناسب اجتماعی و فرهنگی برای اجرای سیاست‌های کلان مثل اجرای تحویل حجمی آب، کاهش ضایعات محصولات کشاورزی و اصلاح الگوی کشت دارد.

گزینه‌ی تحویل حجمی آب به کشاورزان در هر دو روش با اولویت بالا ارزیابی شد که این مسئله نشان‌دهنده اهمیت کنترل و اندازه‌گیری حجم آب و بسترسازی قیمت‌گذاری منصفانه و ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آبخوان است. نتایج تحقیق نشان داد بدون تحویل حجمی آب، اندازه‌گیری آب غیرممکن و ازاین‌رو برنامه‌ریزی منابع آب و برآورد دقیق بهره‌وری مصرف نیز امری غیرعملی خواهد بود.

در این مطالعه گزینه‌ی کاهش ضایعات محصولات کشاورزی رتبه‌ای بالاتر از راهکارهای سازه‌ای از قبیل اجرای روش‌های نوین آبیاری کسب کرده که بررسی اسناد بالادستی نیز نشان می‌دهد میزان هدررفت آب در اثر از بین رفتن محصول به‌مراتب اثرگذاری بیش‌تری از راهکارهایی از قبیل تغییر روش‌های آبیاری دارد.

اهمیت آموزش کشاورزان نشان‌دهنده ضرورت استفاده از ظرفیت نهادهای آموزشی و فرهنگی مانند مدارس، دانشگاه‌ها، انجمن و مؤسسات مردم‌نهاد، رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی در ایجاد فضای آزاد و بالنده برای آگاه‌سازی همه ذینفعان و ذی‌مدخلان میز تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب‌وخاک باشد.

سپاس‌گزاری

از کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و استانداری کرمانشاه و اساتید گروه مهندسی آب دانشگاه رازی که با ارائه نظرات خود ما را یاری نمودند، سپاسگزاریم.

منابع

1- Agricultural Water Productivity Enhancement Plan for Kermanshah Province. 2018. Kermanshah Agricultural Jihad Organization. (In Persian)

2- Baboli, N., Ghamarnia, H., and Hafezparast Mavaddat, M. 2024. Estimating wheat evapotranspiration through remote sensing utilizing GeeSEBAL and comparing with lysimetric data. Applied Water Science 14(193).

3- Asadi, H., Mahmoudi, M., Zare, Sh. 2022. Determination of profitability and economic productivity of agricultural water in the production of crops. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 6)15): 1411-1404. (In Persian)

4- Banihabib, M. E., and Shabestari, M. H. 2017. Decision models for the ranking of agricultural water demand management strategies in an arid region. Irrigation and Drainage, 66 (5): 773-783.

5- Cetin, O., and Kara, A. 2019. Assessment of water productivity using different drip irrigation systems for cotton. Agricultural Water Management, 223: 105693.

6- Chung, S. H., Lee, A. H. L., and Pearn, W. L. 2005. Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. International Journal of Production Economics. 96(5): 15-36.

7- El-Wahed, M.A., Sabagh, A.E., Saneoka, H., Abdelkhalek, A., and Barutçular, C. 2015. Sprinkler irrigation uniformity and crop water productivity of barley in arid region. Emirates Journal of Food and Agriculture, 27(10): 770-775.

8- Esmaeili Khoshmardan, A., and Akbari Afrouzi,

Determination of applied water, yield, and water productivity in tomato farms of Razavi Khorasan Province. Journal of Irrigation and Drainage Engineering Research, 23(89): 82-70. (In Persian)

18- Joozi, M. 2023. Determination of water requirements and water productivity of major crops (wheat, canola, sugar beet, and potatoes) in different climates of Kermanshah Province. Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. (In Persian)

19- Karrou, M., Oweis, T., Enein, R.A.E., and Sherif, M. 2012. Yield and water productivity of maize and wheat under deficit and raised bed irrigation practices in Egypt. African Journal of Agricultural Research 7(11):1755-1760.

20- National Adaptation Plan to Water Scarcity in Iran. 2018. Plan and Budget Organization of the Country. (In Persian)

21- National Knowledge-Based Document on Food Security. 2023. Secretariat of the Supreme Council of the Cultural Revolution. (In Persian)

22- Nayebi, J., Shantia, H., Hajirad, I. and Pourgholam-Amiji, M. 2024. Application of The Hierarchical Analysis Process (AHP) in identifying the best irrigation method (case study: Hokmabad lands of Tabriz City). Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 17(6): 1215-1230. (In Persian)

23- Nisi, L., Albaji, M., Boroomandnasab, S. 2019. Evaluation of the best irrigation system using hierarchical analysis (Case study: Izeh Plain). Iranian Water Research Journal, 13(4): 35-17. (In Persian)

24- Panahi, E., Bafkar, A., Hafezparast, M. 2017. 'Assessment of management alternatives for maintaining watershed sustainability in the climate scenarios', Iran-Water Resources Research, 13(1): 139-152.

25- Saaty, T.L. 1970. The Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications.

26- Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning Priority Setting. Resource Allocation. Pittsburgh: RWS Publications.

27- Sánchez-Garrido, A. J., Navarro, I. J., García, J., & Yepes, V. 2022. An Adaptive and & Electre IS-R. 2017. Investigation of water productivity and management pathology in the agricultural sector of the country. Office of Research and Production Sector Policies, Economic Affairs Deputy of the President's Office, Ministry of Economic Affairs and Finance, Islamic Republic of Iran. (In Persian)

9- Fan, Y., Wang, C., and Nan, Z. 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. Agricultural Water Management, 146: 335-345.

10- Garcia-Melon, M., Javier F., Jeronimo, A.B., Pablo, A.B., and Rocio, P. 2008. Farmland appraisal based on the analytic network Process, Journal of Global Optimization. 42(11), 143-155.

11- González-Prida, V., Barberá, L., Viveros, P., and Crespo, A. 2012. 'Dynamic Analytic Hierarchy Process: AHP method adapted to a changing environment', Proceedings of the 2nd IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology, Sevilla, Spain, 22-23 November. Sevilla: Universidad de Sevilla.

12- Hasanvand Atashgah, M., Yasi, M., Amiri Takeldani, A. 2019. Decision-making model for identifying and prioritizing effective criteria in inter-basin water transfer projects based on ANP and AHP methods. Iranian Water Resources Research Journal, 15(1): 313-299. (In Persian)

13- Hosini, Y. 2020. Evaluation of land suitability for irrigation using fuzzy analytic hierarchy process. Iran Agricultural Research, 39(1): 77-86. (In Persian)

14- Hafezparast, M., Araghinejad, S., and Filatova, T. 2015. 'Comparing the subjective and the objective criteria weighting in agricultural water resources management', Hydrology, 3(4): 38-46.

15- https://www.superdecisions.com

16- Inanolu Taife Yeamorlu, M., Nazari, B., and Setudeh-Nia, A. 2022. A comparative study of factors affecting agricultural water utilization among innovative and non-innovative farmers in Qazvin Province. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(5): (In Persian)

17- Jalini, M., Abbasi, F., Karimi, M. 2023.

Based MCDM Model Using Quantitative Variables. Mathematics, 10(12): 2009.

28- Studies of the National Land Use Document. 2020. Center for Development and Future Studies, Land Use Research Group, Development and Regional Balance. (In Persian)

29- Tabatabaei, M., Zeynali, M.J., Hemraz, B. 2020. Prioritization of Strategic Policies for Acquiring Rights to Iran’s Transboundary Rivers Using AHP and ANP Methods. Iranian Water Research Journal, 14(4): 51-39. (In Persian)

30- Veisi, H., Deihimfard, R., Shahmohammadi, A., and Hydarzadeh, Y. 2022.'Application of the analytic hierarchy process (AHP) in a multi-criteria selection of agricultural irrigation systems', Agricultural Water Management, 267, 107612.

31- Zamani, A., Abbasi, HR., Alipour, V., Peyravi, MR., Shojaei, P., Goli, A., and Mohammadinia, L. 2022. Alternative Water Resources Selection to Supply Drinking Water in Flood Disasters by Multicriteria Decision-Making Techniques (DANP and VIKOR). Journal of Environmental and Public Health. 2022, Article ID 5445786, P: 12.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of
Watershed Management

Vol. 13, No. 50, Fall 2025

سال سیزدهم- شماره ۵۰- پاییز ۱۴۰۴

Abstract

Prioritizing Strategies to Improve Agricultural Water Productivity Using Multi-Criteria Decision-Making Using the Analysis Hierarchy Method (AHP) and Network Analysis (ANP) in Kermanshah Province (Iran)

M. Hafezparast Mavaddat*[1], S.Fathi[2]

Received: 2025/03/31 Accepted: 2025/08/10

Document, water productivity is emphasized as one of the key indicators. The groundwater balance in Kermanshah Province is negative, with accumulated deficits in groundwater reservoirs exceeding one billion cubic meters. In this context, managing water consumption in agriculture—which constitutes a significant portion of water usage in Iran and globally—can be effective and offer solutions. Clearly, one of the prerequisites for managing water consumption in agriculture is identifying the main indicators of water management and determining these indicators using appropriate methods. Making informed decisions to address the pressure on the province's water resources requires recognizing potential solutions, prioritizing them, and adopting appropriate policies to resolve the issue. In this study, the relevant criteria and options for achieving the goal of improving agricultural water productivity were first identified. Subsequently, they were compared, weighted, and prioritized using multi-criteria decision-making methods, specifically the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process (ANP), within the Super Decisions software environment. The results showed that the prioritization differed between the AHP and ANP methods. In the AHP method, the options of volumetric water delivery, farmer training, and reduction of agricultural product waste received the highest weights, respectively. In contrast, in the ANP method, the options of farmer training, realistic pricing of agricultural products, and volumetric water delivery ranked first to third, respectively.

Keywords: Agricultural water Productivity, Analytic hierarchy Process (AHP), Analytic network process (ANP), Multi-criteria decision making.

1. Courresponding Author,Faculty member, water engineering Department, Razi University,Kermanshah,Iran.Email:m.hafezparast@razi.ac.ir
2. PhD student, water resources engineering,water engineering Department, Razi University,Kermanshah,Iran