2024, Vol.10, No.4, Pages 29 to 40
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۴، ۱۴۰۲، صفحات ۲۹ تا ۴۰
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Methodologies

نوع مقاله: روش‌شناسی

Development of a Fuzzy Decision Support System for Irrigation Network Operation Under Water Scarcity Conditions

H. Hedayati[1*], A. Parvaresh Rizi[2], A. Nazi Ghameshlou[3]

1, 2, 3- Ph.D. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*(Corresponding Author Email: Hoda.Hedayati@ut.ac.ir)

Received: 07-01-2024 Revised: 10-02-2024
Accepted: 25-02-2024 Available Online: 15-02-2024

توسعه سامانه فازی پشتیبانی از تصمیم برای بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری در شرایط کم‌آبی

هدی هدایتی[1*]، عاطفه پرورش‌ریزی[2]، آرزو نازی قمشلو[3]

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج،ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Hoda.Hedayati@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸

Abstract

Inefficient irrigation and drainage networks lead to an increase in the gap between water supply and demand, especially under water scarcity conditions. Proper operation of irrigation networks plays an important role in ensuring water supply and demand management. This requires the implementation of a comprehensive approach to making the right decisions at the time of operation. The design of this approach is complex due to the existence of conflicts of interest, uncertainty, and the intrinsic complexity of irrigation network operation topics. In Iran, current practices in irrigation network operations rely on personal experiences and lack comprehensive decision-making tools. This study proposes a fuzzy decision support system to address this challenge. The fuzzy decision support system leverages a fuzzy conceptual model to capture the inherent complexity and uncertainty of irrigation networks. It utilizes a systems approach to identify problems, propose key decision options, and evaluate various solutions. The study emphasizes the effectiveness of multi-criteria decision-making methods for handling complex irrigation network issues. An example of the results of structuring the decision-making process, along with the development of a hierarchical analysis method that is combined with fuzzy set theory (FAHP), is presented in this paper. This shows how the fuzzy decision support system structure can be applied in a real-world irrigation network. Implementing such a system in irrigation management companies is expected to improve water distribution indicators by enabling data-driven, informed decision-making.

Keywords: Decision Support System, Fuzzy Set Theory, Analytic hierarchy Process, Irrigation Network Operation, Water Scarcity.

چکیده

ناکارآمدی شبکه‌های آبیاری، منجر به افزایش فاصله بین عرضه و تقاضای آب مورد نیاز، به ویژه در شرایط کم‌آبی می‌شود. تضمین تأمین آب و مدیریت تقاضا، مستلزم پیاده‌سازی رویکردی جامع برای تصمیم‌گیری درست در زمان بهره‌برداری است. به دلیل وجود تضاد در منافع، عدم قطعیت و پیچیدگی ذاتی موضوعات مرتبط با بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری، طراحی این رویکرد پیچیده است. بااین‌حال، رویه‌های فعلی تصمیم‌گیری‌ها در ایران متکی به تجربیات شخصی و فاقد ابزارهای تصمیم‌گیری جامع است. در این پژوهش ویژگی‌های یک مدل مفهومی فازی برای توسعه یک سامانه تصمیم‌گیری، که بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری را پشتیبانی کند، تشریح و سپس ساختار این سامانه پشتیبان تصمیم پیشنهاد می‌شود. روش مورد نظر، شناسایی مشکلات، طرح گزینه‌های تصمیم‌گیری کلیدی با کاربرد رویکرد سیستمی در ریشه‌یابی مشکل و در نهایت بررسی راهکارهای مختلفی است که برای حل مشکل در شبکه‌های آبیاری پیشنهاد شده است. همچنین این پژوهش بر کاربرد موفقیت‌آمیز روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مواجهه با مسائل پیچیده در زمینه بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری تأکید می‌کند. نمونه‌ای از نتایج ساختاردهی فرآیند تصمیم‌گیری، همراه با توسعه یک روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی با تئوری مجموعه‌های فازی (FAHP)، در این مقاله ارائه شده است که نشان می‌دهد، چگونه این ساختار در یک شبکه آبیاری در حال بهره‌برداری، به‌کار می‌رود. پیش‌بینی می‌شود کاربرد چنین سامانه‌ای در شرکت‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری می‌تواند به ارتقاء شاخص‌های توزیع آب کمک کند.

واژه‌های کلیدی: سامانه پشتیبانی از تصمیم، تئوری مجموعه فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی، بهره‌برداری در شبکه آبیاری، کم‌آبی.

How to cite this article: Hedayati, H., Parvaresh Rizi, A., & Nazi Ghameshlou, A. (2024). Development of a Fuzzy Decision Support System for Irrigation Network Operation Under Water Scarcity Conditions. Journal of Water and Sustainable Development, 10(4), 29-40. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2401-1299

مقدمه

شبکه‌های آبیاری و زهکشی برای انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی در نقاط مختلف جهان احداث شده و انتظار می‌رود که به افزایش کارآیی آب و صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی کمک کنند. اما نتایج ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری نشان می‌دهد عملکرد بسیاری از آنها مطلوب نیست (Hashemy و Roozbahani، ۲۰۱۵؛ خدادادی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Nam و همکاران، ۲۰۱۶). ازاین‌رو در سال‌های اخیر، توسعه روش‌هایی برای بررسی مشکلات بهره‌برداری، اولویت‌بندی راهکارهای سازه‌ای یا غیرسازه‌ای و ارزیابی گزینه‌های بهسازی و نوسازی مورد توجه پژوهشگران بوده است (رحمتی و منعم، ۱۴۰۰). ناکارآمدی شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند با مطالعات امکان‌سنجی و طراحی پیش از ساخت مرتبط باشد. در موارد بسیاری، توسعه این شبکه‌ها بدون شناخت کافی از مسائل اجتماعی، وضعیت اقتصادی، اقلیم، چگونگی بهره‌برداری دانش و مهارت آب‌بران انجام یافته است. این امر منجر به افزایش رقابت و کشمکش میان بهره‌برداران، کاهش تمایل به تبعیت از الگوهای کشت در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و در نهایت افزایش فاصله بین تأمین و تقاضای آب شده است. مدیریت شبکه‌های آبیاری مستلزم آگاهی از تمامی مسائل مرتبط با بهره‌برداری است. تصمیم‌گیرندگان برای بهبود وضعیت بهره‌برداری با مسائل متعدد ازجمله تصمیم‌گیری در نحوه توزیع آب مورد تقاضا، تخصیص منابع مالی، مدرن‌سازی شبکه آبیاری و ارتقاء مشارکت و مهارت‌های آب‌بران روبه‌رو هستند. ازاین‌رو، برنامه بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، در هرسال نیازمند بازنگری است (Burton، ۲۰۱۰). این موضوع به دلیل تعدد عوامل مؤثر در برنامه، کار پیچیده‌ای است و نیازمند استفاده از دانش، تجربه و ابزار مناسب است. به‌علت نبود ابزار جامع برای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی اغلب تصمیم‌گیری‌های مدیریتی شبکه‌های آبیاری در ایران، بر اساس تجربه فردی و حتی سلیقه شخصی صورت می‌گیرد و این شیوه تصمیم‌گیری یکی از علل اصلی بروز مشکلات در مدیریت شبکه‌های آبیاری کشور است. توسعه برنامه‌های مبتنی بر رویکرد مدل‌سازی تحلیلی می‌تواند به حل مسائل پیچیده مدیریت آب آبیاری کمک کند (Saggi و Jain، ۲۰۲۲). اقدامات فردی و جمعی بر توزیع آب و عملکرد کل سیستم آبیاری تأثیر می‌گذارد. بنابراین توجه به رفتارهای فردی، کشاورزان را بر اساس در دسترس بودن آب و همچنین تعاملات و تصمیمات جمعی آنها در مورد توزیع آب، غیرخطی بودن و عدم قطعیت، در مدل‌سازی می‌تواند به شناسایی و ارزیابی استراتژی‌های مختلف مدیریت آب برای بهبود عدالت و کارایی توزیع آب کمک کند (Lang و Ertsen، ۲۰۲۳). برخی از پژوهش‌ها در زمینه مدیریت شبکه‌های آبیاری به توسعه سامانه‌های پشتیبانی تصمیم با اهداف متفاوت پرداخته‌اند (Jiracheewee و همکاران، ۱۹۹۶؛ Mateos و همکاران، ۲۰۰۲؛ Wen و همکاران، ۲۰۰۷؛ Kumar و Singh، ۲۰۰۳؛ Mohamed و همکاران،۲۰۱۰؛ Zhai و همکاران، ۲۰۲۰؛ Saggi و Jain، ۲۰۲۲). این پژوهش‌ها نشان دادند؛ ایجاد سامانه اطلاعاتی و پشتیبانی تصمیم‌گیری دستیابی به پایگاه داده و سازمان‌دهی اطلاعات را سرعت می‌بخشد و بستر مناسبی را برای برنامه‌ریزی الگوی کشت، اجرای زمان‌بندی آبیاری، تخصیص آب و تحویل آب فراهم می‌کند. این سیستم‌ها با ایجاد چارچوبی برای ادغام سیستم‌های مدیریت پایگاه داده، مدل‌های تحلیلی و گرافیک به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری از مقیاس مزرعه تا سطح منطقه‌ای کمک می‌کند (Pandey و Mogarekar، ۲۰۲۲). روند تکامل کاربرد انواع سامانه‌های پشتیبانی از تصمیم، نشان داد این سامانه‌ها به‌عنوان ابزاری جامع که قادر به ادغام داده‌های مختلف و معیارهای متفاوت از هم هستند، می‌توانند هم‌راستا با فناوری‌های جدید، استفاده شوند (Mannina و همکاران، ۲۰۱۹). در دهه گذشته، کاربرد فناوری داده‌های بزرگ و فناوری اطلاعات در ارتقای مدیریت آب آبیاری مورد توجه قرار گرفته است. ایجاد چارچوب سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر داده‌های بزرگ نیز به یک موضوع جذاب و کاربردی در زمینه کشاورزی و آبیاری تبدیل شده است (Sohn و همکاران، ۲۰۲۰؛ Zhai و همکاران، ۲۰۲۰؛ Saggi و Jain، ۲۰۲۲). از سوی دیگر، هر کدام از مدل‌های تصمیم‌گیری، برای تمام مسائل آبیاری ایده‌آل و به اندازه کافی مفید نیستند (Car، ۲۰۱۸)؛ حتی گاهی مدل‌های تصمیم‌گیری نامتناسب با شرایط، منجر به شکست در مدیریت آبیاری شده‌اند (McCown، ۲۰۰۲). بنابراین، برای هر مورد به‌خصوص، مدل منحصربه‌فردی توسعه یافته است. اما باید ذکر کرد در پژوهش‌های انجام شده، کمتر مطالعه‌ای با هدف تصمیم گیری برای مسائل بهره برداری شبکه‌های آبیاری روباز انجام شده است.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، ابزار مناسبی برای توسعه سامانه‌های پشتیبانی از تصمیم در زمینه مدیریت آب کشاورزی است (Sarband و همکاران، ۲۰۲۰). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از پرکاربردترین آنها، است. توماس ال ساعتی، با شبیه‌سازی فرآیند تحلیل ذهن انسان در مواجهه با تحلیل مسائل پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی را معرفی نموده است (Saaty، ۱۹۸۰). وی کلیه محاسبات، قوانین و مقررات این فرآیند را بر پایه چهار اصل، شامل اصل شرط معکوسی، اصل همگنی، اصل وابستگی و اصل انتظارات، بنا نهاده است. روش تحلیل سلسله مراتبی، علاوه‌بر مبانی نظری قوی، دارای محاسبات ساده ریاضی برای توسعه و توانایی تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری برای تصمیم است. فرآیند تصمیم‌گیری در روش تحلیل سلسله مراتبی، طی چهار مرحله مدل‌سازی (تجزیه مسأله)، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود (اصغری‌زاده و محمدی، ۱۴۰۰). روش

تحلیل سلسله مراتبی اغلب برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی در مدل تصمیم‌گیری به‌ویژه در ارزیابی عملکرد شبکه‌های متعدد آبیاری استفاده شده است. با رواج روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیندهای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری نیز به مرور تکامل یافته است، اما کمتر به امکان کاربرد آن در تصمیم‌گیری جامع‌گرا برای مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری پرداخته شده است.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، با وجود کاربرد گسترده، به‌دلیل عدم توجه به اطمینان از درک صحیح مسأله یا خطا در قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرندگان، مورد انتقاد قرار گرفته است (Deng، ۱۹۹۹). از طرفی، اختصاص یک عدد کمّی مطلق و قطعی برای ارزیابی معیارهایی که ذاتاً کیفی و ذهنی هستند، مشکل است. همچنین، گاهی در تشخیص مقدار دقیق داده، به‌علت‌هایی مانند نقص اطلاعات، ابهام وجود دارد و باعث سردرگمی در تصمیم‌گیری می‌شود (اصغری‌زاده و محمدی، ۱۴۰۰). این ویژگی در مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری بیشتر احساس می‌شود؛ برای مثال، مقدار عددی دبی جریان و دبی مورد نیاز در محاسبات ، نتیجه ساده‌سازی و فرضیات فراوان در شرایط غیرواقعی است. همچنین، اهمیت و میزان اثرگذاری هر یک از عوامل بر وضعیت بهره‌برداری به‌دلیل هم‌پوشانی و عدم وجود مرز دقیق بین آن‌ها با عدم قطعیت همراه است. این مسأله به‌ویژه در تعیین میزان اهمیت مولفه‌های اجتماعی و مدیریتی بیشتر مورد توجه است. توصیف‌هایی مانند عالی، خوب، متوسط و ضعیف مفاهیم نادقیقی هستند که معنایی خاص و میزان اهمیت را نشان می‌دهند. در چنین شرایطي که تحلیل مسائل با عدم قطعیت همراه است، محاسبات با روش‌های قطعی منجر به بروز خطاهای اجتناب‌ناپذیر نسبت به شرایط واقعی خواهد شد. با ایجاد انعطاف در محاسبات می‌توان تا حدود زیادی بی‌دقتی موجود در اطلاعات را برطرف نمود و نتایج را به شرایط واقعی نزدیکتر کرد. عدم قطعیت در پیشامدهایی مانند اطلاعاتی که از داده‌های هواشناسی به‌دست می‌آیند نیز مطرح است، اما چون این داده‌ها صرفاً ماهیت تصادفی دارند، در قالب نظریه احتمال بیان شدنی هستند. برای مواردی مانند نبود اطلاعات صحیح، عدم دقت در تنظیم سازه‌ها، تأثیر هیدرولیکی متقابل سازه‌ها و مسائلی از این دست، پیاده‌سازی تأثیر عدم قطعیت در محاسبات، با به‌کارگیری نظریه منطق فازی امکان‌پذیر است و نظریه احتمال در این زمینه کاربردی نیست؛ زیرا احتمال، یک مدل ریاضی برای پدیده‌های نامشخص و تصادفی است؛ اما منطق فازی مدلی برمبنای ریاضیات است که برای تعیین حقیقت برای هر پدیده، از مقداری مشخص به‌عنوان میزان درستی استفاده می‌کند (طاهری، ۱۳۹۷). بنابراین، با توسعه یک سیستم پشتیبانی از تصمیم بر اساس منطق فازی، اشتباهات ناشی از تصمیم‌گیری‌های فردی نیز کاهش می‌یابد. همچنین، استفاده ازمنطق فازی برای تبدیل مقادیر توصیفی_ بیانی به مقادیر عددی و اعمال میزان تأثیر شاخص‌ها بر روی هم، مناسب است. اثر ترکیبی منطق فازی و روند تحلیل سلسله مراتبی، روشی انعطاف‌پذیر را برای دستیابی به قضاوت مناسب و محسوس و تصمیم‌گیری منطقی‌تر ارائه می‌دهد. در مقاله حاضر، یک مدل مفهومی برای توسعه سامانه پشتیبانی تصمیم برای مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری روباز طراحی و تشریح شده است که در تحقیقات قبلی کمتر به این کاربرد از سامانه‌های تصمیم پرداخته شده است. طراحی شیوه ارتباط میان مولفه‌های سامانه، اهمیت ویژه‌ای در توسعه سامانه دارد.مدل مفهومی ارائه شده، معماری ساختار سامانه توسعه یافته (DSS-MOIN)[1] را ترسیم می‌نماید. این سامانه، با قابلیت‌هایی مبتنی بر مدل‌های محاسباتی و روش‌های مدیریت دانش به فرآیند تصمیم‌گیری ساختار می‌بخشد و تحلیل مسأله بهره‌برداری را ساده می‌کند. همچنین، ایده کاربرد منطق فازی در توسعه سامانه پشتیبانی از تصمیم برای بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری ارائه شده و در ساختار مدل یاد شده به‌کار رفته است که از این نظر با پژوهش‌هایی که زمینه مشابه دارند، متمایز است. به‌عبارت‌دیگر، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای پیاده‌سازی رویکرد فازی و ساختاردهی به فرآیند بررسی وضعیت بهره‌برداری و تصمیم‌گیری پیشنهاد شد. تصمیم‌سازی بر مبنای قضاوت خبرگان با کاربردی از منطق فازی و تصمیم‌گیری توسط مدیر انجام می‌گیرد. پشتیبانی از فرآیند تصمیم‌گیری شامل دریافت نظرات کارشناسی، جمع‌بندی اطلاعات مورد نیاز تصمیم‌گیری، ارزیابی راهکارهای مختلف و در نهایت پردازش بازخورد هر تصمیم در وضعیت بهره‌برداری است که نتایج به کاربر ارائه می‌شود. در نتیجه کارشناسان و مدیران بهره‌برداری شبکه می‌توانند در هر زمانی با انجام تحلیل وضعیت، فرآیند بهره‌برداری را بهبود دهند یا در مواجهه با شرایط پیچیده‌تر و چالش‌هایی مانند عدم تناسب عرضه با تقاضای آب، نبود منابع مالی کافی، مشکلات اجتماعی و محدودیت‌های زمانی تصمیم‌های بهتری بگیرند.

روش‌شناسی تحقیق

مبانی روش انجام فرآیند تصمیم‌گیری و پشتیبانی از آن توسط سامانه در این قسمت ارائه می‌شود. فرآیندهای طراحی شده، تنها در صورت امکان ارتباط با سایر اجزای سامانه، برای حل مسئله تصمیم‌گیری مفید خواهند بود. در طراحی فرآیندهای لازم برای پشتیبانی تصمیم، سه زیر سامانه در نظر گرفته شده است. زیرسامانه مدیریت اطلاعات که وظیفه دریافت نظرات کارشناسی، اطلاعات پایه منطقه و .. را خواهد داشت. زیرسامانه دانش مبنا، شامل مبانی محاسبات، مشکلات بهره‌برداری، راهکارهای مرسوم برای بهبود وضعیت بهره‌برداری و شاخص‌های ارزیابی و .. است. زیرسامانه پردازش که وظیفه پردازش و محاسبات را بر عهده دارد. این سه زیرسامانه که توسط رابط کاربری باهم در ارتباط خواهند بود، در قالب یک سامانه قرار گرفته و برای هر شبکه آبیاری قابل

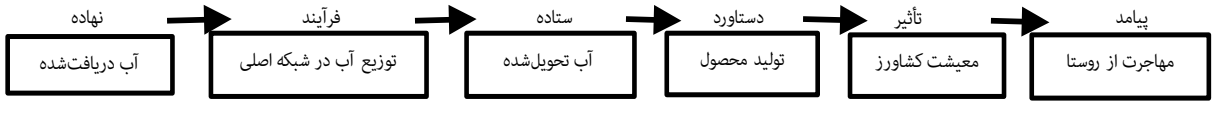
کاربرد هستند. در این مقاله صرفاً به فرآیند توسعه سامانه پشتیبانی از تصمیم فازی، برای بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و نحوه طراحی این فرآیند پرداخته شده است و نتایج کاربرد موردی آن، مورد نظر این پژوهش نبوده است.

۱-روش اکتساب دانش و شناخت مسأله

در این پژوهش همه عوامل مؤثر بر بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری با استناد به مراجع موجود، گزارش‌های علمی و شواهد میدانی شناسایی شد و مدل مفهومی رویکرد جامع مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری تشکیل شد. شناسایی مسائل بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در ایران و دسته‌بندی مشکلات ناشی از آن بر اساس نتایج بیش از ۳۰ پایان‌نامه تحصیلات تکمیلی داخلی (طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸) و مرور مقالات علمی-پژوهشی (طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۱) انجام شد. مولفه‌های کلیدی در مدیریت بهره‌برداری نیز براساس نشریات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، نشریات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران و کتب تخصصی در زمینه مدیریت شبکه‌های آبیاری گردآوری و جمع‌بندی شد. این نتایج در زیرسامانه پشتیبانی از تصمیم ذخیره می‌شود و همیشه قابلیت به‌روزرسانی و تکمیل دارد.

۲-کاربرد رویکرد سیستمی

همان‌طور که اشاره شد، تدوین الگوی جامع مدیریت بهره‌برداری یکی از اهداف این پژوهش بوده است. برای این منظور، شبکه آبیاری و زهکشی مشابه یک سیستم و فعالیت‌های مربوط به بهره‌برداری، فرآیند آن سیستم فرض شده است. در شکل (۱) یک نمونه از تعریف نهاده، ستاده، دستاورد، اثرات، بازخورد و فرآیند مربوط به توزیع آب در کانال درجه دو با رویکرد سیستمی نشان داده شده است. این رویکرد از این نظر مهم است که روابط بین عوامل موثر بر مدیریت مطلوب بهره‌برداری شبکه آبیاری را مشخص می‌کند و علت ایجاد مشکلات در شبکه‌های آبیاری را ردیابی می‌نماید. همچنین، این رویکرد در شناسایی مسیرهای دستیابی به اهداف طرح، یاری‌کننده است.



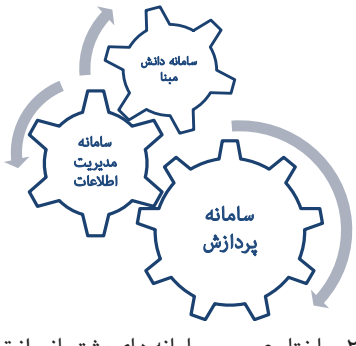
شکل ۱- نمونه‌ای از رویکرد سیستمی مولفه‌های مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری

۳-تصمیم‌گیری ساختار یافته

تصمیم‌گیری ساختار یافته، رویکردی نوین برای حل مسائل بدون ساختار و مشکل پیچیدگی تصمیم‌گیری در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. با استفاده از مبانی روش‌های ساختاردهی به فرآیند تصمیم‌گیری اقدام به توسعه سامانه پشتیبانی تصمیم برای موضوع بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری شد. مطالبی که در این قسمت به آن پرداخته خواهد شد، روش ایجاد ساختار تصمیم‌گیری و مبانی فرآیند تصمیم‌گیری و پشتیبانی از آن توسط سامانه مورد توسعه است.

۳-۱- ایجاد ساختار برای پشتیبانی از تصمیم

به‌منظور پشتیبانی مناسب ازتصمیم‌گیری، ساختار سامانه مورد توسعه، با تعامل سامانه‌های مدیریت اطلاعات، مدیریت دانش، پردازش و رابط کاربری تشکیل می‌شود. رابط کاربری پیام‌های دریافتی از کاربر را پشتیبانی می‌کند و پیام‌ها و نتایج خروجی را به کاربر ارائه می‌دهد. مدیریت دانش شامل مفاهیم، مبانی محاسباتی و دانش تجربی است که درون سامانه پشتیبانی از تصمیم وجود خواهد داشت. بخش پردازش جزء فعال و به‌عنوان موتور نرم‌افزاری سامانه پشتیبانی از تصمیم است و به شناخت مسأله و تحلیل آن و تولید دانش خواهد پرداخت. شکل (۲) چگونگی ارتباط این بخش‌ها را با یکدیگر نشان می‌دهد.



شکل ۲-ساختار عمومی سامانه‌های پشتیبانی از تصمیم

۳-۲- روش تصمیم‌گیری با تحلیل چندمعیاره

بررسی وضعیت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی بهبود آن، با وجود منافع متضاد و حضور معیارهای متناقض،پیچیده است. برای تحلیل این مسائل در سامانه تصمیم‌یار مورد توسعه، روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) در نظر گرفته شد. زیرا از یک سو موضوع مدیریت آبیاری قابلیت شکل‌گیری در ساختار سلسله مراتبی برای تجزیه مسائل با ابعاد کوچکتر را دارد و از سوی دیگر کاربرد رویکرد فازی برای جبران پیچیدگی مربوط به عدم قطعیت[۲] اطلاعات بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری مفید است.

در خصوص کاربرد اصول منطق فازی در روش تحلیل سلسله مراتبی روش‌های متعددی ارائه شده است. تعداد محاسبات و پیچیدگی مراحل در بسیاری از روش‌ها باعث شده که چندان مورد استفاده قرار نگیرند. در میان رویکردهای متعددی که برای تحلیل سلسه‌مراتبی فازی ارائه شده است، رویکرد تحلیل توسعه‌ای[۳] چانگ (Chang، ۱۹۹۶) بیشتر مورد توجه محققان قرارگرفته است (Zyoud و همکاران،۲۰۱۸؛ Kaya و همکاران، ۲۰۱۹). در ادامه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با رویکرد توسعه‌ای چانگ در قالب مراحل زیر تشریح می‌شود:

- **تجزیه مسأله:** برای ایجاد ساختار رده‌ای، مسأله تصمیم‌گیری، در سطوح مجزا به‌ترتیب از بالاترین سطح هدف اصلی تصمیم‌گیری (بررسی وضعیت بهره‌برداری شبکه آبیاری) تا پایین‌ترین سطح گزینه‌های تصمیم شامل انشعابات شبکه، مشکلات، راهکارهای بهبود وضعیت بهره‌برداری تنظیم و ارتباط هر جزء با سایر اجزاء در این ساختار مشخص می‌شود. در سطح دوم، معیارهای اصلی تصمیم‌گیری پنج گروه مدیریتی، فنی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی و پس از آن معیارهای فرعی (ازجمله کفایت بودجه (اقتصادی)، کفایت آب تحویل شده (مدیریتی)، اثربخشی سازه‌ها (فنی) و سایر موارد، در سطوح میانی این ساختار قرار خواهند گرفت.

- **مقایسات زوجی:** در این مرحله ماتریس مقایسه زوجی معیارها و ماتریس‌های مقایسات زوجی گزینه‌ها برحسب هریک از معیارها به‌عنوان ورودی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی براساس رابطه (۱) تشکیل می‌شود. میزان اهمیت در این مقایسه، برحسب طیف نه تایی ساعتی و به‌صورت اعداد فازی مثلثی بیان می‌شود.

$$A=(a_{ij})=\begin{bmatrix}(1,1,1) & (l_{12},m_{12},u_{12}) & \cdots & (l_{1n},m_{1n},u_{1n})\\ (l_{21},m_{21},u_{21}) & (1,1,1) & \cdots & (l_{2n},m_{2n},u_{2n})\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ (l_{n1},m_{n1},u_{n1}) & (l_{n2},m_{n2},u_{n2}) & \cdots & (1,1,1)\end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در آن $A=(a_{ij})_{n\times n}$ ماتریس مقایسات زوجی، $a_{ij}=(l_{ij},m_{ij},u_{ij})$ نشان دهنده میزان ترجیح عنصر i نسبت به عنصر j است. lمعرف کمترین مقدار، u معرف بیشترین مقدار و m معرف محتمل‌ترین مقداری است که عدد فازی M می‌تواند اختیار کند. n تعداد معیارها یا گزینه‌ها است.

در مقایسه ترجیح بین دو عنصر، شرط معکوس اصول چهارگانه ساعتی، براساس رابطه (۲) برقرار است.

$$a_{ji}=(l_{ji},m_{ji},u_{ji})=\left(\frac{1}{u_{ij}},\frac{1}{m_{ij}},\frac{1}{l_{ij}}\right) \quad (۲)$$

- **محاسبه وزن (امتیاز) گزینه‌ها و معیارها:** برای محاسبه وزن در تحلیل سلسله مراتبی فازی روش‌های گوناگونی ارائه شده است. در روش تحلیل توسعه‌ای چانگ، با استفاده از بسط مرکب فازی، از هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی و به‌ازای هر گزینه یا معیار، یک عدد فازی مثلثی S استخراج می‌شود (Chang، ۱۹۹۶). این مرحله شامل گام‌های زیر است:

گام اول: ارزش بسط مرکب فازی برای iامین معیار یا گزینه به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Chang، ۱۹۹۶).

$$S_i=\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}\otimes\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}=\left(\sum_{j=1}^{m}l_j,\sum_{j=1}^{m}m_j,\sum_{j=1}^{m}u_j\right) \quad (۳\text{-الف})$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}\right]^{-1}=\left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}u_i},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}m_i},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}l_i}\right) \quad (۳\text{-ب})$$

که در آن S_i و M_{gi}^{j} (j= 1,2,3,……,m) اعداد فازی مثلثی هستند.

$$\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}=\left(\sum_{i=1}^{m}l_j,\sum_{i=1}^{m}m_j,\sum_{i=1}^{m}u_j\right) \quad (۳\text{-ج})$$

گام دوم: درجه بزرگی هر بسط مرکب فازی S_i نسبت به دیگری S_k، بر مبنای قوانین حاکم بر اعداد فازی، از رابطه (۴) به‌دست می‌آید. در نهایت، میزان بزرگی مقادیر هر بسط مرکب فازی در مقایسه با k بسط دیگر با استفاده از رابطه (۵) مشخص می‌شود (Chang، ۱۹۹۶).

$$\begin{aligned}&V(S_i\geq S_k)=SUP\left[\min(\mu_{S_k}(x),\mu_{S_i}(x)\right]\\&=hgt(S_i\cap S_k)=\mu(d)\\&=\begin{cases}1 & ,\ m_i\geq m_k\\0 & ,\ l_k\geq u_i\\\dfrac{l_k-u_i}{(m_i-u_i)-(m_k-l_k)} & Otherwise\end{cases}\end{aligned} \quad (۴)$$

$$\begin{aligned}V(S_i\geq S_1,S_2,\dots,S_k)&=V\left[(S_i\geq S_1)\text{و}(S_i\geq S_2)\text{و}\dots(S_i\geq S_k)\right]\\&=\min V(S_i\geq S_K)\quad i,k=1,2,\dots.,n\ \text{و}\ i\neq k\end{aligned} \quad (۵)$$

که در آن S_i و S_k، عدد فازی هستند که نشان‌دهنده بسط مرکب فازی معیار یا گزینه مورد بررسی هستند و V درجه احتمال بزرگی بین دو عدد فازی را نشان می‌دهد.

گام سوم: با فرض $d'(A_i)=\min V(S_i\geq S_k)$، آنگاه بردار فازی W' که بردار وزن اولیه گزینه‌ها (معیارها) است، از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$W'=[d'(A_1),d'(A_2),\dots,d'(A_n)]^T \quad (۶)$$

گام چهارم: نسبت هر درایه از بردار وزن اولیه بر مجموع وزن‌های اولیه به‌دست می‌آید تا بردار W که معرف وزن نسبی گزینه‌ها (معیارها) و برداری غیرفازی است، براساس رابطه (۷) به‌دست آید. (Chang، ۱۹۹۶).

$$W=[d(A_1),d(A_2),\dots,d(A_n)]^T \quad (۷)$$

گام پنجم: وزن هر گزینه به‌ازای هر معیار، با ضرب ارزش هر معیار در وزن‌های به‌دست آمده از ماتریس مقایسه گزینه‌ها به‌ازای همان معیار مشخص می‌شود.

گام ششم: ارزش نهایی هر گزینه برابر با مجموع ارزش وزنی آن گزینه برای تمامی معیارها است.

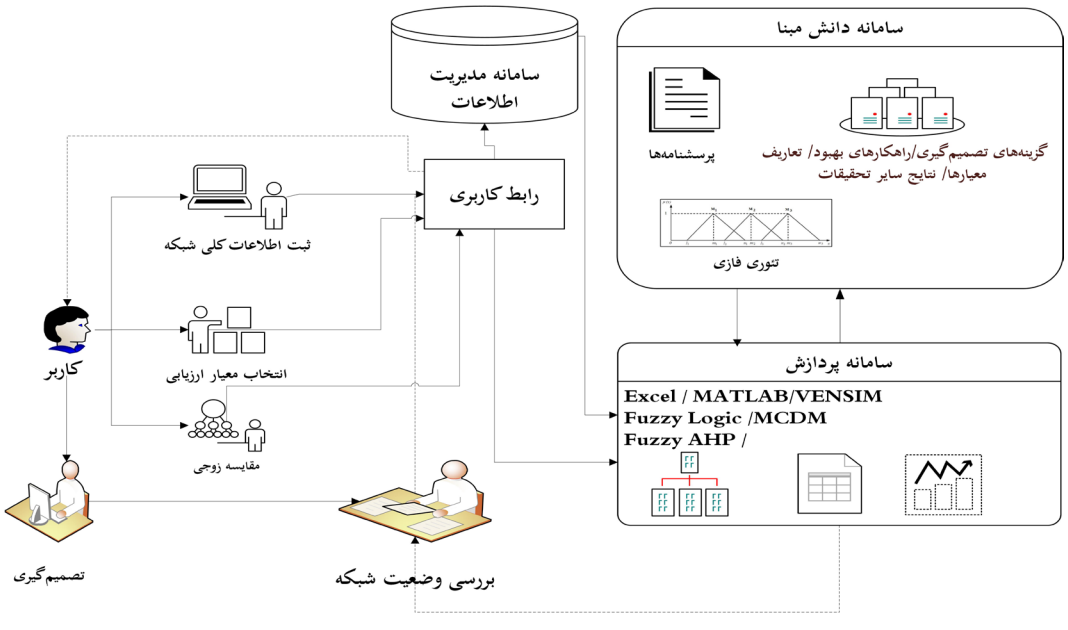
- **رتبه‌بندی گزینه‌ها:** گزینه‌ها بر اساس ارزش‌های نهایی و به‌صورت نزولی برای رتبه‌بندی، مرتب می‌شوند.

نتایج

توسعه یک سامانه جهت پشتیبانی از تصمیم در مدیریت شبکه‌های آبیاری، گستره بسیار وسیعی از تصمیم‌های قابل بررسی دارد. برای این طیف گسترده از تصمیم‌گیری‌ها، کلیه عوامل مؤثر در فرآیند مدیریت بهره‌برداری و نقش آنها در دستیابی به اهداف شبکه‌های آبیاری شناسایی شد. در گام بعدی با کاربرد رویکرد سیستمی مدل مفهومی مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی تشکیل شد. با مشخص شدن اهداف تصمیم‌گیری، پس از غربالگری تمام این معیارها از نظر اهمیت در تصمیم‌گیری (بر پایه نظرات خبرگان)، مدل تصمیم‌گیری در خصوص هر مسأله بهره‌برداری در ساختار سلسله‌مراتبی بیان شده است. این ساختار شرایط بهره‌برداری شبکه را شبیه‌سازی می‌کند و متناسب با نظام بهره‌برداری هر شبکه قابل تغییر است. برای شناخت مسائل بهره‌برداری و تحلیل راهکارهای پیشنهادی به مدیران در رفع مشکلات بهره‌برداری، سامانه پشتیبانی از تصمیم بهره‌برداری شبکه بر مبنای ساختار معرفی شده ایجاد شد.

۱-ایجاد سامانه پشتیبانی از تصمیم برای بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری

این سامانه دارای سه بخش اصلی شامل مدیریت اطلاعات، مدیریت دانش مبنا و سامانه پردازش است. رابط کاربری امکان ارتباط این سه بخش با یکدیگر و با کاربر (مدیر شبکه، کارشناس یا توسعه‌دهنده) را میسر می‌کند. شکل (۳)، مدل مفهومی ساختار سامانه DSS-MOIN را که بر اساس روش تحقیق شکل گرفته است، نشان می‌دهد.



شکل ۳- مدل مفهومی سامانه پشتیبانی از تصمیم برای مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری

۲-زیرسامانه مدیریت اطلاعات

مشخصات کلی شبکه (شکل ۴) و اطلاعات مربوط به عملکرد شبکه در یک دوره بهره‌برداری با پاسخ کاربر به سوالات زیر، وارد مدل شده و در سامانه مدیریت اطلاعات ذخیره خواهد شد:

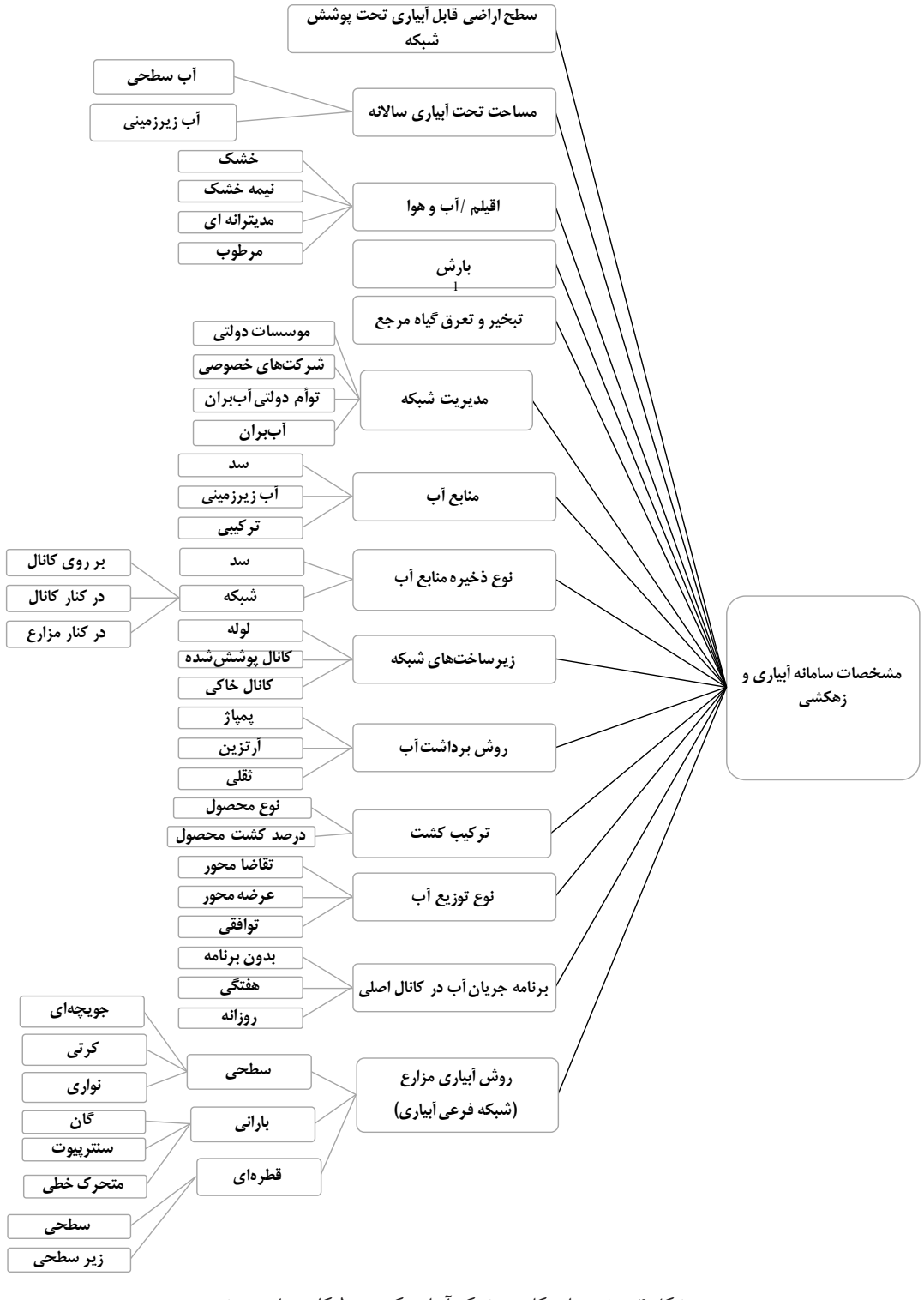
- اطلاعات کلی شبکه شامل، اطلاعات هواشناسی و اقلیمی درازمدت، منابع آب، روش توزیع، روش آبیاری.
- اطلاعات مربوط به شاخص‌های نهاده‌ای، شامل اطلاعات اقلیمی، هواشناسی، منابع آب،سطح زیر کشت، الگوی کشت، میزان جریان ورودی به شبکه، اعتبارات مالی، منابع انسانی و در دوره کشت مورد نظر می‌باشد.
- اطلاعات مربوط به فرآیند بهره‌برداری ازجمله مشخصه‌های هیدرولیکی مانند ظرفیت انتقال، کنترل تراز سطح آب در دوره مورد نظر است.
- اطلاعات مربوط به شاخص‌های بیرونی از جمله میزان تولید محصول، هزینه‌ها، خسارت مالی، درآمد، شکایات و ... در دوره مورد نظر است.

۳- زیرسامانه مدیریت دانش

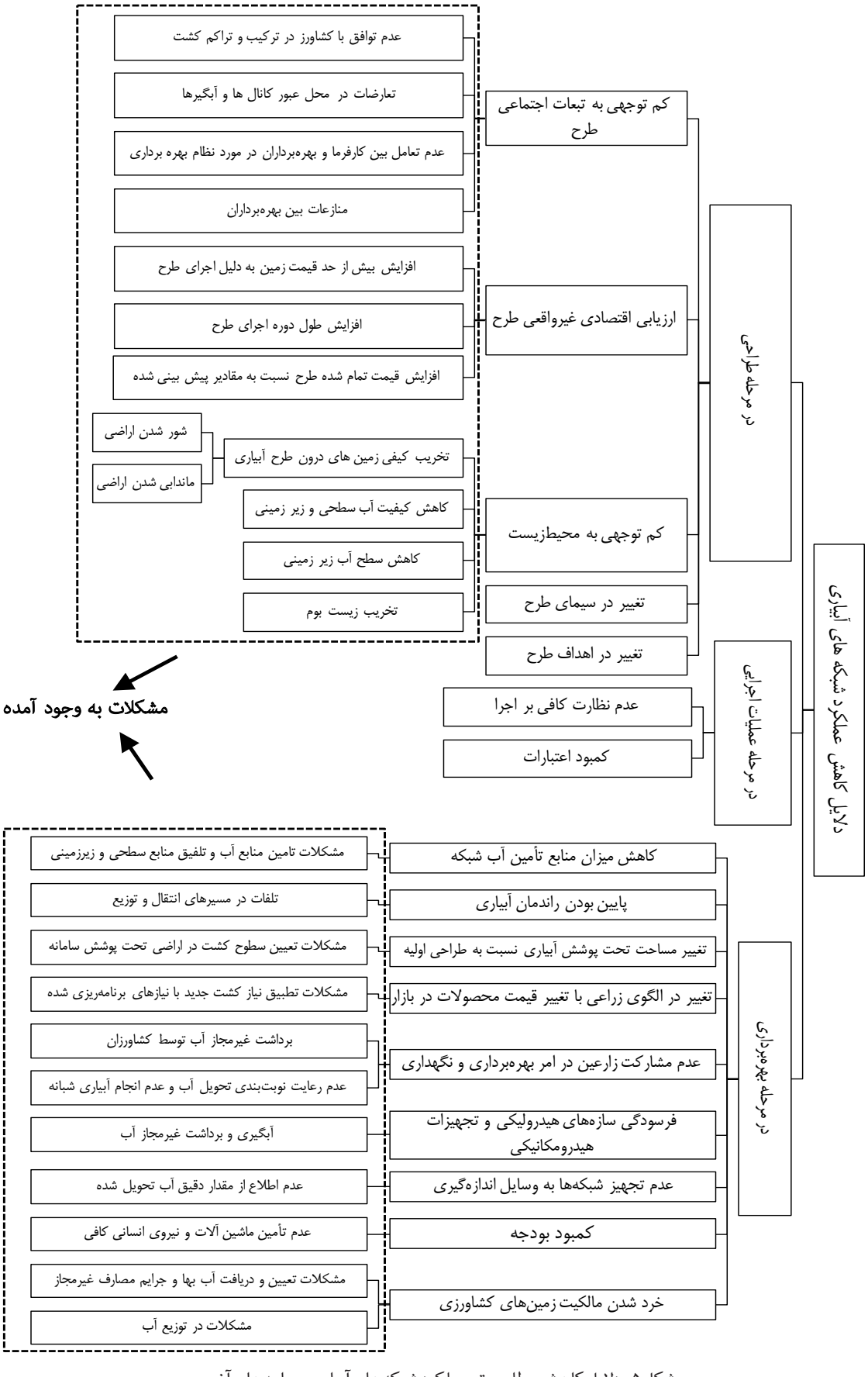
پس از بررسی منابع پژوهشی، دلایل کاهش عملکرد شبکه‌های آبیاری و مشکلات به‌وجود آمده در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری دسته‌بندی شد و علت‌یابی آن با کاربرد رویکرد سیستمی انجام شد. این نتایج در قسمت مدیریت دانش مبنا سامانه DSS-MOIN، ذخیره می‌شود و کاربر از آن به‌عنوان مبنای ارزیابی تشخیصی در تصمیم‌گیری استفاده خواهد کرد. شکل (۵)، دلایل عمومی کاهش مطلوبیت عملکرد شبکه‌های آبیاری و پیامدهای ناشی از آن را

نشان می‌دهد.

راهکارهای رفع مشکلات برای استفاده کاربر در پایگاه مدیریت دانش ذخیره شده است. این راهکارها با جمع‌بندی مروری بر منابع مطالعه شده ،کسب نظر خبرگان و مصاحبه با کشاورزان به‌دست آمد. نمونه راهکارهای پیشنهادی برای کاهش مشکلات بهره‌برداری که در جدول (۱) ارائه شده، مبنای بخشی از دانش ذخیره شده در سامانه توسعه یافته است. همچنین شکل (۶) سیاست‌گذاری مدیر شبکه برای برخورد با متخلفین برداشت غیرمجاز آب از شبکه و راهکارهای پیشنهادی برای کاهش مشکلات بهره‌برداری با رویکرد اثرگذاری اجتماعی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مشخصات کلیدی شبکه آبیاری که توسط کاربر وارد می‌شود



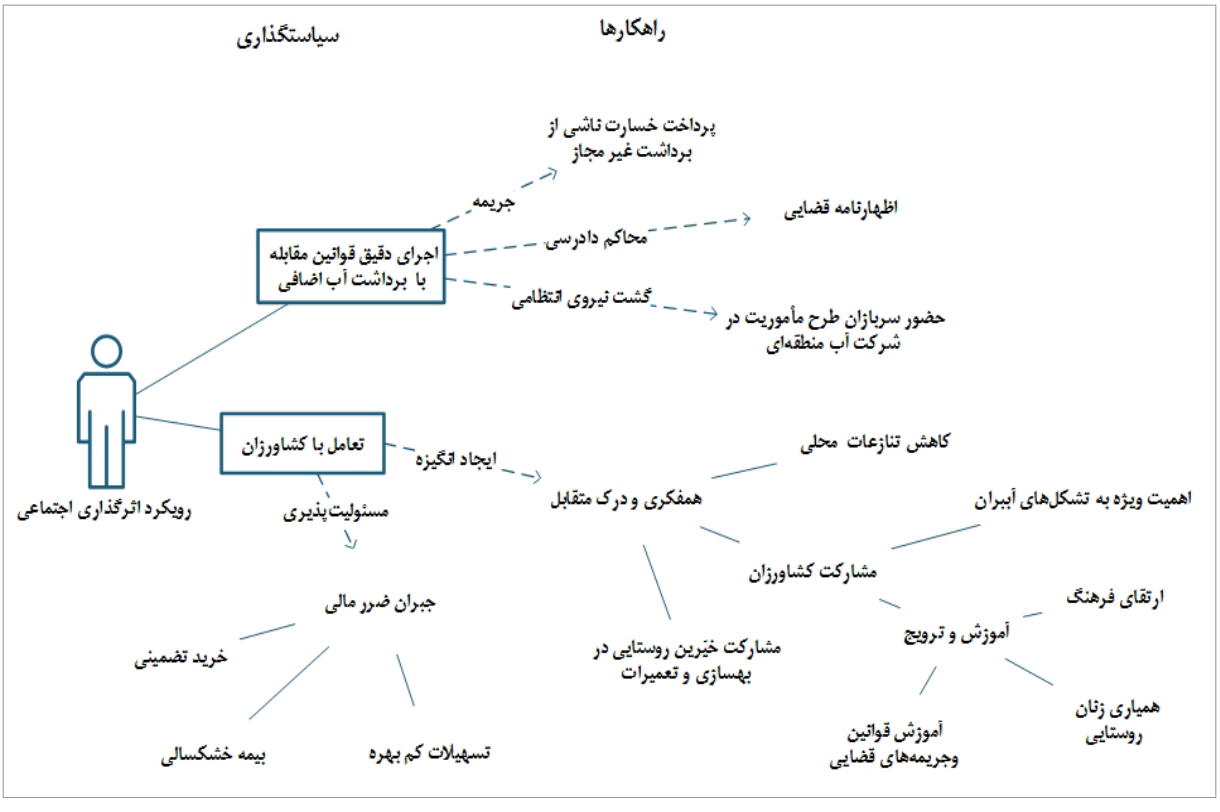
شکل ۵- دلایل کاهش مطلوبیت عملکرد شبکه‌های آبیاری و پیامدهای آن

جدول ۱- نمونه‌هایی از راهکارهای پیشنهاد شده برای کاهش مشکلات بهره‌برداری

مشکل	تصمیم‌گیری	راهکارهای اجرایی
تلفات زیاد آب	مدیریت و کنترل رشد گیاهان	بازسازی قسمت‌های تخریب شده کانال
	نگهداری مناسب از تأسیسات شبکه	بازرسی و عیب‌یابی تأسیسات شبکه تعمیر و تعویض قطعات فرسوده یا آسیب‌دیده تمیز کردن و روان‌سازی تأسیسات شبکه انجام آزمایش‌های دوره‌ای
	افزایش دقت در توزیع آب	تنظیم و واسنجی سازه‌ها در طول دوره بهره‌برداری استفاده از سازه‌های آبگیر نیرپیک در تمام کانال‌ها استفاده از سازه‌های آبند اتوماتیک هیدرولیکی
نوسانات دبی آب ورودی در بالادست	مدیریت عرضه	استفاده از سازه‌های منحرف‌کننده جریان حاصل از بارندگی تامین عمق مناسب آب در کانال‌ها جهت آبگیری آبگیرها مخـازن‌گیـری تنظیمی در مسیر کانال‌های آبیاری کاهش زمان آبگیری نوبت‌بندی تحویل آب
کاهش ظرفیت هیدرولیکی کانال	مدیریت تجمع نخاله، رسوب و رشد گیاهان	لایروبی کانال، تخیله مداوم آشغالگیر
برداشت غیر مجاز آب توسط کشاورزان	اجرای دقیق قوانین مقابله با برداشت آب اضافی	گشت نیروی انتظامی کمک گرفتن از محاکم دادرسی قانون‌گذاری
ناهماهنگی کشاورزان با برنامه‌های بهره‌برداری	تعامل با کشاورزان	کمک به حل تنازعات محلی آموزش و ترویج مشارکت کشاورز در بهره‌برداری مشارکت ذینفعان در تصمیم‌گیری
	اهمیت به تشکل‌های آب‌بران	خرید تضمینی محصولات تسهیلات کم‌بهره به اعضای تشکل‌ها بیمه خشکسالی
	مشارکت در سرمایه‌گذاری	مشارکت خیّرین روستایی در بهسازی و تعمیرات

۴- سامانه پردازش

شکل (۷)، الگوریتم عملیات پردازش سامانه مورد توسعه را نشان می‌دهد. در گام اول اطلاعات مربوط به شبکه از کاربر (مدیر بهره‌برداری، کارشناس ارزیاب، کارشناس برنامه‌ریزی) دریافت و در پایگاه اطلاعات این سامانه ذخیره‌سازی می‌شود. درگام دوم وضعیت بهره‌برداری شبکه با کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی بررسی می‌شود و نتایج ارزیابی آن به کاربر ارائه خواهد شد. اگر وضعیت بهره‌برداری شبکه مورد قبول کاربر باشد، آنگاه برنامه بهره‌برداری بدون نیاز به اقدامات بهبود و صرفاً بر مبنای اطلاعات فراخوانی شده از پایگاه مدیریت اطلاعات، تنظیم خواهد شد. در شرایطی که وضعیت بهره‌برداری بر مبنای معیارهای مورد نظر کاربر، مطلوب نباشد، پس از ردیابی علت کاهش عملکرد شبکه، اقدامات بهبود بهره‌برداری متناسب با نقاط ضعف شناسایی شده توسط سامانه پیشنهاد می‌شود. کاربرد لیست راهکارهای پیشنهادی از سامانه مدیریت دانش فراخوانی می‌نماید. همچنین تصمیم‌گیری نهایی پس از پیش‌بینی اثربخشی راهکارها در مدیریت شبکه و انتخاب راهکارهای مناسب توسط کاربر صورت می‌گیرد.



شکل ۶- راهکارهای کاهش مشکلات بهره‌برداری با رویکرد اثرگذاری اجتماعی

جمع‌بندی

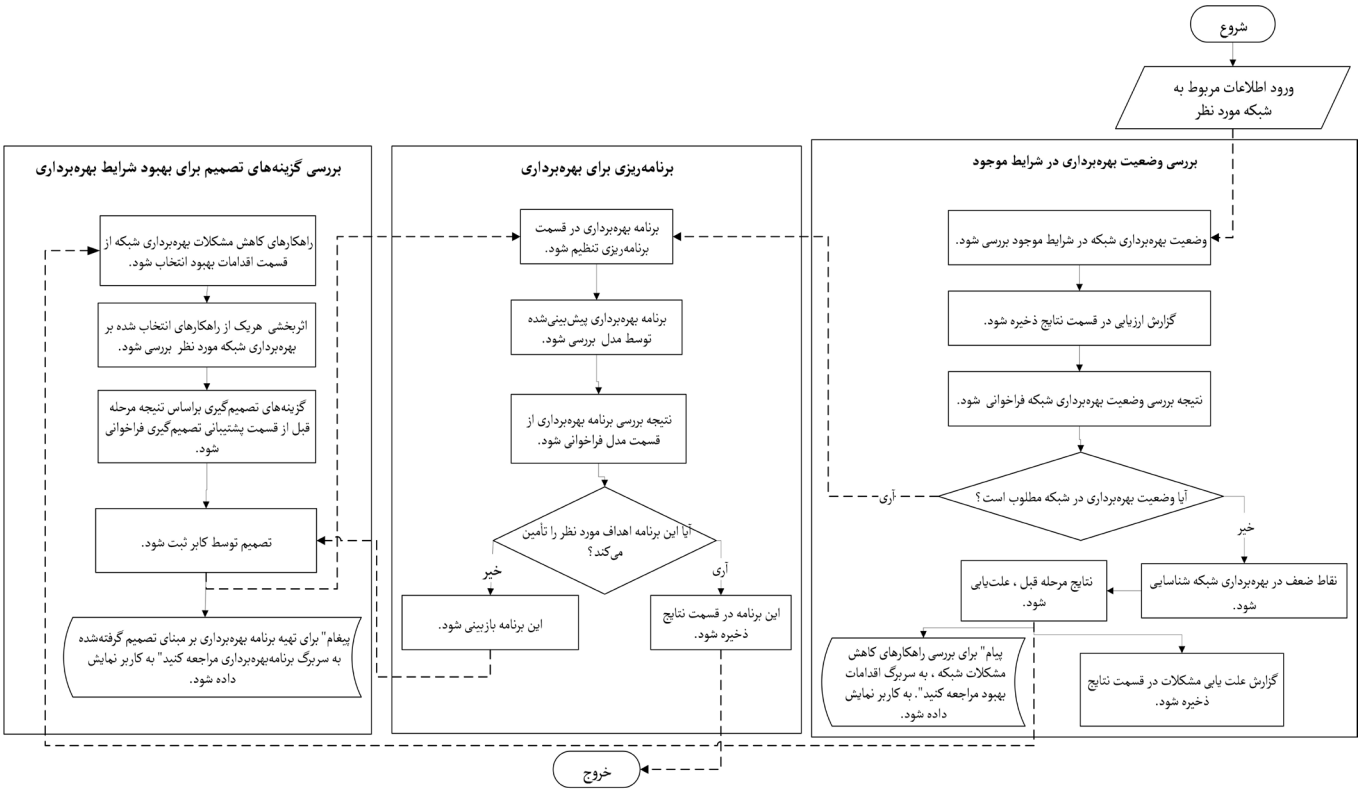
در این پژوهش، پس از مشخص شدن مولفه‌های اصلی سامانه پشتیبانی از تصمیمیک مدل مفهومی برای توسعه سامانه‌ای که فرآیند تصمیم‌گیری در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری پشتیبانی کند، معرفی شد. شناسایی مشکلات، دلایل و روابط بین آنها و مسیرهای تصمیم‌گیری با کاربرد رویکرد سیستمی ردیابی و مشخص شد. این مطالعه بر کاربرد موفقیت آمیز روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مواجهه با مسائل پیچیده در زمینه بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری تاکید می‌نماید. همچنین مزایای کاربرد رویکرد فازی و پیاده‌سازی آن در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره برای ایجاد انعطاف در محاسبات و همسویی نتایج قضاوت در تصمیم‌گیری با شرایط واقعی، تشریح شد. موارد یاد شده برای ایجاد قابلیت ساختار یافتگی مسأله تصمیم‌گیری مربوط به مدیریت شبکه‌های آبیاری صورت گرفت. یک نمونه از ساختاردهی به فرآیند تصمیم‌گیری در شبکه‌های آبیاری، با توسعه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. در نهایت مشخص شد این روش، پتانسیل تبدیل داده‌های کیفی و غیر قطعی به معیارهای کمّی برای تحلیل در سامانه جامع پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیریت بهره‌برداری را دارد. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از این سامانه در سیاست‌گذاری‌های شرکت‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در کشورهای در حال توسعه، به مدیریت بهتر عرضه و تقاضا در شبکه‌های آبیاری کمک خواهد کرد.

پی‌نوشت‌ها

1-Decision Support System for Managing the Operation of Irrigation Networks (DSS-MOIN)

2-Uncertainty

3-Extent analysis(Ea)



شکل ۷- گردش عملیات در پایگاه پردازش DSS-MOIN

منابع

اصغری‌زاده، عزت‌الله، و محمدی بالانی، عبدالکریم. (۱۴۰۰). تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه. انتشارات دانشگاه تهران. تهران، ایران.

خدادادی، سیف‌الله، یاسی، مهدی، منعم، محمدجواد. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی الگوی تحویل آب در سناریوهای کاهش تخصیص آب شبکه آبیاری زرینه‌رود با استفاده از الگوریتم PSO. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۵)، ۱۱۷۹-۱۱۹۲. doi: 10.22059/ijs-wr.2021.316352.668856

رحمتی، سپیده، و منعم، محمدجواد. (۱۴۰۰). کاربرد فرآیند مسکات برای ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی گتوند. مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۴)، ۸۴۵-۸۶۶. doi: 10.22059/jwim.2022.331246.928

طاهری، سیدمحمود. (۱۳۹۷). نظریه احتمال و نظریه امکان: شباهت‌ها و تفاوت‌ها. سیستم‌های فازی و کاربردها، ۴(۱)، ۴۳-۵۴. dor: 20.1001.1.27174409.1397.1.1.4.5

Burton, M. (2010). Irrigation management: Principles and practices. Cabi. Oxford, Cambridge.

Deng, H. (1999). Multi criteria analysis with fuzzy pairwise comparison. International Journal of Approximate Reasoning, 21(3), 215-231. https://doi.org/10.1016/S0888-613X(99)00025-0

Car, N.J. (2018). Using decision models to enable better irrigation Decision Support Systems. Computers and Electronics in Agriculture, 152, 290-301. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.024

Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95 (3), 649-655. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2

Hashemy Shahdany, S. M., & Roozbahani, A. (2015). Selecting an appropriate operational method for main irrigation canals within multicriteria decision-making methods. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(4), 1-9. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000996

Jiracheewee, N., Oron, G., Murty, V. V. N., & Wuwongse, V. (1996). Computerized database for optimal management of community irrigation systems in Thailand. Agricultural water management, 31(3), 237-251. https://doi.org/10.1016/0378-3774(96)01241-3

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. MacGraw-Hill, New York international. B. company, New York, United States.

Saggi, M. K., & Jain, S. (2022). A survey towards decision support system on smart irrigation scheduling using machine learning approaches. Archives of computational methods in engineering, 29(6), 4455-4478. https://doi.org/10.1007/s11831-022-09746-3

Sarband, E.M., Araghinejad, S. & Attari, J. Developing an Interactive Spatial Multi-Attribute Decision Support System for Assessing Water Resources Allocation Scenarios. Water Resour Manage, 34, 447–462 (2020). https://doi.org/10.1007/s11269-019-02291-y

Sohn, J., Bisquert, P., Buche, P., Hecham, A., Kalbar, P. P., Goldstein, B., Birkved, M. & Olsen, S. I. (2020). Argumentation corrected context weighting-life cycle assessment: a practical method of including stakeholder perspectives in multi-criteria decision support for LCA. Sustainability, 12(6), 2170. https://doi.org/10.3390/su12062170

Wen, T. H., Lin, C. H., Chen, C. T., & Su, M. D. (2007). Analysis of spatial scenarios aiding decision making for regional irrigation water-demand planning. Journal of irrigation and drainage engineering, 133(5), 455-467. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:5(455)

Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. Computers and Electronics in Agriculture, 170, 105256. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256

Zyoud, S.H., Kaufmann L.G., Shaheen H., Samhan S., & Fuchs-Hanusch, D. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. Expert Systems with Applications, 61, 86-105. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016

Kaya I., Colak M., & Terzi F. (2019) A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. Energy Strategy Reviews, 24, 207-228. https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.03.003

Kumar, R., & Singh, J. (2003). Regional water management modeling for decision support in irrigated agriculture. Journal of irrigation and drainage engineering, 129(6), 432-439. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:6(432)

Lang, D., & Ertsen, M. W. (2023). Modelling farmland dynamics in response to farmer decisions using an advanced irrigation-related agent-based model. Ecological Modelling, 486, 110535. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110535

McCown, R. L. (2002). Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. Agricultural systems, 74(1), 179-220. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00026-4

Mannina,G., Rebouças,T.F., Cosenza,A., Sànchez-Marrè,.M, & Gibert,K.,(2019). Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of the art. Bioresource Technology, 290, 121814. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121814

Mateos, L., Lopez-Cortijo, I., & Sagardoy, J. A. (2002). SIMIS: the FAO decision support system for irrigation scheme management. Agricultural Water Management, 56(3), 193-206. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00035-5

Mohamed, H. I., Ahmed, E. E., Abbas, O. M., & Mohamed, A. M. E. (2010). Water allocation and optimization of minor canal operation. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(5), 1031-1043. https://doi:10.5251/abjna.2010.1.5.1031.1043

Nam, W. H., Hong, E. M., & Choi, J. Y. (2016). Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. Irrigation science, 34(2), 129-143. https:// doi:10.1007/s00271-016-0488-6

Pandey, A., & Mogarekar, N. (2022). Development of a spatial decision system for irrigation management. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 1-11. https://doi.org/10.1007/s12524-020-01305-2