



The University of Tehran Press

Natural Resources Governance

Home Page: <https://jnrg.ut.ac.ir/>

Online ISSN: 3060-7183

Agricultural Water Governance and Policy-Making Model: An Approach Towards Sustainable Development

Ahmad Radmehr

Department of Water, Agriculture & Environment Faculty of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran.
Email: aradmehr@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 22 October, 2024
Revised 10 November, 2024
Accepted 12 February, 2025
Published online 10 March 2025

Keywords:
Action Plan,
Strategic Planning,
Sustainable Development,
Water Resource System,
Water Resource Management.

ABSTRACT

Sustainable water resource management, aimed at optimal resource utilization and ensuring food security, is considered a fundamental challenge in the agricultural sector. This study seeks to develop a conceptual model for managing agricultural water supply and demand by analyzing the strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT) within the study area. Spatial analysis of internal and external factors was conducted using the SWOT model and a multi-criteria decision-making approach. To prioritize strategies, a combination of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the fuzzy TOPSIS method was employed. The required data were collected through the purposive distribution of 30 questionnaires among selected managers, experts, and stakeholders. The results revealed that the final scores for internal and external factors were 2.9 and 2.73, respectively. Accordingly, aggressive (SO) strategies and a combination of structural and non-structural strategies (SO, ST, and WO) were identified as top priorities. The most significant recommended strategies include the development and improvement of the physical structure of the water system, enhancement of operation and maintenance management, environmental management, and the use of internal water resources. Furthermore, it was determined that the annual water consumption of irrigated lands in the region amounts to approximately 1.8 billion cubic meters, 95% of which is supplied from surface water sources. The findings offer effective solutions for implementing sustainable water resource management on larger scales.

Cite this article: Radmehr, A. (2025). Agricultural Water Governance and Policy-Making Model: An Approach Towards Sustainable Development. *Natural Resources Governance*. 1 (4), 319-338.



© Ahmad Radmehr

DOI: <http://doi.org/10.22059/jnrg.2025.389981.1028>

Publisher: University of Tehran Press.



انتشارات دانشگاه تهران

نشریه حکمرانی منابع طبیعی

سایت نشریه: <https://jnrg.ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۷۱۸۳-۳۰۶۰

الگوی حکمرانی و سیاست‌گذاری آب کشاورزی: رویکردی به سوی توسعه پایدار

احمد رادمهر

گروه آب، کشاورزی و محیط زیست، دانشکده حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: aradmehr@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

کلیدواژه:

برنامه‌ریزی راهبردی،

برنامه اقدام،

توسعه پایدار،

سامانه منابع آب،

مدیریت منابع آب

مدیریت پایدار منابع آب، با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع و تأمین امنیت غذایی، از چالش‌های اساسی در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف ارائه مدلی مفهومی برای مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی، به تحلیل نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای موجود در محدوده مطالعاتی پرداخته است. تحلیل مکانی عوامل داخلی و خارجی، با استفاده از مدل SWOT و رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، انجام شد. برای اولویت‌بندی راهبردها، از ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش تاپسیس در محیط فازی بهره گرفته شد. داده‌های مورد نیاز از طریق توزیع ۳۰ پرسشنامه میان مدیران، کارشناسان و بهره‌برداران منتخب، به روش نمونه‌گیری هدفمند گردآوری و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که امتیاز نهایی عوامل داخلی ۲/۹ و عوامل خارجی ۲/۷۳ است. بر این اساس، راهبردهای تهاجمی (SO) و ترکیبی از راهبردهای سازهای و غیرسازهای (WO و ST، SO) در اولویت قرار دارند. مهم‌ترین راهبردهای پیشنهادی شامل توسعه و به‌سازی ساختار فیزیکی سامانه، بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، مدیریت زیست‌محیطی و استفاده از منابع داخلی آب است. همچنین مشخص شد که حجم سالانه آب مصرفی اراضی آبی منطقه حدود ۱/۸ میلیارد مترمکعب است که ۹۵ درصد آن از منابع سطحی تأمین می‌شود. یافته‌ها، راهکارهای مؤثری برای اجرای مدیریت پایدار منابع آب در مقیاس‌های بزرگ ارائه می‌کند.

استناد: رادمهر، احمد (۱۴۰۳). الگوی حکمرانی و سیاست‌گذاری آب کشاورزی: رویکردی به سوی توسعه پایدار، ۱ (۴) ۳۳۸-۳۱۹.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© احمد رادمهر

DOI: <http://doi.org/10.22059/jnrg.2025.389981.1028>



۱. مقدمه

بخش کشاورزی، اصلی‌ترین تامین‌کننده مواد غذایی جمعیت رو به رشد جهان و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در میان بخش‌های مختلف است. لزوم تضمین امنیت غذایی در شرایط آینده از یک سو و تاثیر احتمالی تغییرات اقلیمی بر منابع و مصارف آب و تولید محصولات کشاورزی از سوی دیگر، اهمیت مدیریت آب کشاورزی را با هدف افزایش بهره‌وری آب در این بخش دوچندان کرده است (Porkka et al., 2016). امروزه، علاوه بر بحران کمی و کیفی آب، مدیریت نادرست بحران آب، به‌ویژه در حوزه کشاورزی، به عنوان چالشی بسیار مهم مطرح است. این چالش تا حد زیادی ریشه در عدم سازگاری با تغییر اقلیم، افزایش جمعیت و رقابت شدید میان شهرها، کشاورزان، صنایع، تامین‌کنندگان انرژی و بوم‌سازگان دارد (Gosling, 2016).

مدیریت یکپارچه آب در سامانه‌های منابع آب شامل مولفه‌های مختلفی از جمله منابع آب، مصارف، مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است که هر کدام از این مولفه‌ها شامل عواملی هستند که می‌توانند مدیریت یکپارچه آب را تحت تاثیر قرار دهند (Loucks, 2000). بر این اساس، در مدیریت یکپارچه منابع آب، تمرکز اصلی بر مدیریت توأمان عرضه و تقاضای آب استوار است تا بتوان به توسعه‌ای متوازن و پایدار دست یافت. در شرایط کنونی، آب به عنوان کالایی اقتصادی، کم‌یاب و در برخی مناطق نایاب محسوب می‌شود که نیازمند بازبینی اساسی در نحوه مدیریت آن است. بنابراین، سازگاری با کم‌آبی و مدیریت یکپارچه منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر است تا بتوان توسعه‌ای متوازن و پایدار را محقق ساخت. برای رسیدن به این هدف، سیستم‌های منابع آب نیازمند برنامه‌ریزی راهبردی هستند تا فرایندی مدیریتی در راستای هماهنگی قابلیت‌های سیستم شکل گیرد (Ragab & Hamdy, 2004).

در دهه‌های گذشته مهم‌ترین چالش مدیران منابع آب، تأمین و عرضه آب از مناطق مختلف دور دست بود، ولی امروزه مدیریت تقاضای آب در اولویت برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب قرار دارد (Abbasi et al., 2015). بر این اساس در مدیریت یکپارچه منابع آب، تمرکز اصلی بر مدیریت توأمان عرضه و تقاضای آب استوار است تا بتوان به توسعه متوازن و پایدار دست یافت. توزیع مکانی و زمانی بارش‌ها، نوسانات جریان رودخانه در طول دوره رشد و کمبود بارندگی در فصل خشک چالش‌هایی را برای مدیریت آب کشاورزی ایجاد می‌کند (Li et al., 2020; Hughes & Farinosi, 2020). مشارکت جهانی آب، مدیریت یکپارچه منابع آب را به‌عنوان فرایندی که توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط را ترویج می‌کند، به‌منظور به حداکثر رساندن رفاه اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن به شیوه‌ای عادلانه و بدون به خطر انداختن پایداری اکوسیستم‌های حیاتی تعریف می‌کند (Garcia, 2008).

تنوع محصولات زراعی، مدیریت الگوی کشت و مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند در بهبود تأمین آب کشاورزی مؤثر باشد (Conrad et al., 2020; Portoghesi et al., 2020). بررسی نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط پژوهشگران حاکی از وجود راه‌کارهای مختلف سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای مدیریت آب کشاورزی و ایجاد سیستم مدیریت عرضه و تقاضای آب در سامانه‌های منابع آب است. مسئله انتقال مدیریت آبیاری، به‌عنوان انتقال کامل یا جزئی مسئولیت نهادهای دولتی، مدیریت و سرمایه‌گذاری روی سیستم‌های آبیاری به تشکلهای آب‌بران و مردم‌نهاد تعریف می‌شود (Vermillion, 2003). ارزیابی خطر خشکسالی برای اراضی کشاورزی با در نظر گرفتن تعامل پیچیده بین اجزای مختلف، توسط مزا و همکاران (Meza et al., 2021) ارائه شد. در تحقیق ایشان از رویکردهای مدل‌سازی و سنجش از دور در انتخاب شاخص‌های آسیب‌پذیری خشکسالی استفاده شد. باکور و همکاران (Baccour et al., 2021) تخصیص آب و آلودگی کشاورزی را به منظور مدیریت پایدار آب در حوزه‌ای در اسپانیا تجزیه و تحلیل کردند. در این مطالعه یک مدل آبی-اقتصادی با در نظر گرفتن جنبه‌های هیدرولوژیکی، اقتصادی و کیفیت آب توسعه داده شد. مطالعات انجام شده توسط محققان (Gaur et al., 2008) نشان می‌دهد که بهبود راندمان توزیع آب در کانال‌های شبکه آبیاری در سال‌های پربابی و همچنین تغییر الگوی کشت و معرفی منابع آب جایگزین شامل مخازن کوچک ذخیره آب از طریق ذخیره آب در فصول غیرزراعی، به‌عنوان راهکاری مؤثر در مدیریت سامانه‌های منابع آب بزرگ مقیاس مطرح است. در تحقیق دیگری (Abdelhaleem et al., 2021) از رویکرد مدل‌سازی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای به منظور مدیریت آب کشاورزی استفاده کردند. در مطالعه ایشان تغییرات سطح زیرکشت اراضی کشاورزی و بروزرسانی تقاضای آب

آبیاری بر اساس شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل‌سازی مشارکتی براساس رویکرد پویایی سیستم‌ها توسط نیام و همکاران در یک مطالعه موردی در حوزه رودخانه برید^۱ در آفریقای جنوبی مورد بررسی قرار گرفت (Nyam et al., 2021). نتایج نشان داد که استفاده از این روش، رویکرد مناسبی در حل چالش‌های مربوط به مدیریت آب و توسعه کشاورزی در مقیاس حوزه می‌باشد. قوانین تخصیص آب در میان گروه‌های مصرف‌کنندگان آب توسط رویار و رینودو (۲۰۲۰) با در نظر گرفتن معیارهای محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی شامل ۵۴ گروه مصرف‌کننده آب کشاورزی در فرانسه مورد ارزیابی قرار گرفت (Rouillard & Rinaudo, 2020).

آلامانوس و همکاران (۲۰۲۰) یک چارچوب آبی-اقتصادی برای مدیریت پایدار منابع آب در اراضی کشاورزی آبی را ارزیابی کردند. ایشان دو مدل آبی-اقتصادی برای تجزیه و تحلیل چالش‌های مرتبط با محدودیت داده‌ها و اطلاعات، تحلیل مکانی و مسائل مبتنی بر سناریو توسعه دادند. نتایج نشان داد که مدل توسعه‌یافته می‌تواند تعادلی میان سادگی، انعطاف‌پذیری، دقت و پایداری برقرار کند (Alamanos et al., 2020). گزینه‌های سازگاری با تغییرات اقلیم توسط محققان (Acharjee et al., 2020) با مشورت ذینفعان شناسایی شدند. در این مطالعه از تحلیل چندمعیاره برای ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی استفاده شد. پژوهشگران توصیه کردند که برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت باید بر فرصت‌های اجرای اقدامات سازگاری قابل تحقق در نظام کشاورزی محلی متمرکز باشد. مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای مبتنی بر ریسک برای مدیریت یک سیستم کشاورزی-اکولوژیکی در حوزه رودخانه هیبه در چین اعمال شد. نتایج نشان داد که ترکیب این مدل‌ها می‌تواند برای تخصیص بهینه آب مؤثر باشد (Youzhi et al., 2021). برنامه‌های سازگاری تحت شرایط عدم قطعیت‌های اقلیمی در بخش کشاورزی با استفاده از ترکیب رویکرد مسیرهای سازگاری و ابزار ارزیابی منابع آب و خاک (SWAT) برای ارزیابی استراتژی‌های مدیریت تحت عدم قطعیت‌های اقلیمی در حوزه رودخانه حبله‌رود ایران ارزیابی شدند.

به‌منظور رسیدن به معیارهای توسعه پایدار در سطح حوزه‌های آبریز نیازمند به استفاده از رویکردهای برنامه‌ریزی راهبردی است (Loucks, 2000). منظور از توسعه پایدار، توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی است به‌نحوی که نیازهای جوامع امروز را برآورده کرده و مانع برآوردن نیازهای نسل‌های آتی نگردد (Baumgartner & Korhonen, 2010). سه بعد مدیریت راهبردی عبارتند از: فرآیند راهبردی، محتوای راهبردی و زمینه راهبردی است (Baumgartner & Rauter, 2016). برنامه‌ریزی راهبردی یک مأموریت سازمانی را تعریف می‌کند، برنامه‌ها را اولویت‌بندی کرده و فرصت‌ها و منافع بالقوه را در زمینه‌های مختلف به حداکثر می‌رساند (David, 2011). تجزیه و تحلیل SWOT شامل برنامه‌ریزی استراتژیک برای ارزیابی وضعیت یک سیستم با در نظر گرفتن نقاط قوت^۲، نقاط ضعف^۳، فرصت‌ها^۴ و تهدیدها^۵ است (Srdjevic et al., 2012). یانگ و همکاران (Yang et al., 2018) از تجزیه و تحلیل راهبردی برای توسعه استراتژی‌های صنایع مبتنی بر منابع تجدیدپذیر و مناسب‌ترین رویکردها استفاده کردند. در مطالعه انجام‌شده توسط پتوسی و همکاران (Petousi et al., 2017)، تجزیه و تحلیل راهبردی برای اقدامات مختلف مرتبط با مدیریت منابع آب انجام شد و نتایج با کاربران، مدیران آب، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران مورد بحث قرار گرفت. برنامه‌ریزی کاربری اراضی کشاورزی به‌عنوان یک روش استراتژیک نقش مهمی در مدیریت ریسک سیل دارد. تحلیل SWOT برای ارتقای بخش انرژی‌های تجدیدپذیر در پاکستان انجام شد. نتایج این تحلیل، استراتژی‌هایی را برای توسعه پایدار بخش انرژی‌های تجدیدپذیر در پاکستان شناسایی کرد (Kamran et al., 2019). تحلیل SWOT را می‌توان با ترکیب آن با تصمیم‌گیری چند معیاره^۶ بهبود بخشید (Svekli et al., 2011; Amin et al., 2012). دریس و کومار (۲۰۲۲) سه استراتژی مدیریت آب شامل استحصال آب، کاهش تقاضا و مدیریت خاک را در یک طرح توسعه منابع آب به کار گرفتند. علاوه بر این، مدل‌سازی هیدرولوژیکی برای تجزیه و تحلیل پاسخ‌های هیدرولوژیکی انجام شد. تمامی سناریوها نشان‌دهنده بهبود در میزان نگهداشت آب و ذخیره رطوبت خاک در حوزه آبریز مورد مطالعه بودند.

¹. Breede

². Strengths

³. Weaknesses

⁴. Opportunity

⁵. Threat

⁶. Multi Criteria Decision Making

(Drisya & Kumar, 2022). در یک مطالعه موردی، ابزاری مبتنی بر تحلیل‌های مکانی به منظور برنامه‌ریزی اقدامات حفاظتی منطقه‌ای توسعه داده شد تا اقدامات حفاظتی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای را در مناطق ناهمگن اولویت‌بندی کند (Thomson et al., 2020). شاخص همبست آب-غذا-انرژی توسط کریمیان و همکاران (۲۰۲۱) در سطح مزرعه برای مدیریت آب کشاورزی به کار گرفته شد (Karamian et al., 2021). یک چارچوب یکپارچه توسط پوماس و همکاران (۲۰۲۱) توسعه داده شد که روش‌های تحلیل محیطی را با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مدیریت آب کشاورزی در حوزه‌های رودخانه‌ای ترکیب می‌کند. چارچوب پیشنهادی مدل نیروهای محرکه-فشارها-وضعیت-اثرات-واکنش‌ها را با مدل همبست آب-انرژی-زمین-غذا ترکیب می‌کند. این چارچوب، استراتژی‌هایی را برای انتخاب توسط تصمیم‌گیرندگان پیشنهاد داده و در حوزه رودخانه پینیوس در یونان به کار گرفته شد (Psomas et al., 2021). یک رویکرد چندمعیاره برای ارزیابی عملکرد نسبی دو نوع استراتژی سازگاری گزارش شد: (الف) استراتژی‌های مستقل (استراتژی‌های سبز یا خاکستری) و (ب) استراتژی‌های ترکیبی (ترکیب استراتژی‌های سبز و خاکستری). نتایج نشان داد که میان سازگاری با فشارهای کوتاه‌مدت و مواجهه با چالش‌های بلندمدت یک مبادله وجود دارد (Sadr et al., 2020). تلفیق روش AHP و تحلیل SWOT برای بررسی عوامل رشد منابع مختلف انرژی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که معیارهای اقتصادی و اجتماعی-سیاسی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد انرژی‌های تجدیدپذیر هستند (Wang et al., 2020). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که یک چارچوب مبتنی بر تحلیل SWOT در ترکیب با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند در ارزیابی پایداری راهبردهای مدیریت آب کشاورزی در سامانه‌های منابع آب مؤثر باشد. برای دستیابی به پایداری، گنجاندن شاخص‌های پایداری در تکنیک‌های رتبه‌بندی MCDM ضروری است.

جمع‌بندی سابقه تحقیق براساس بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تاکنون رویکردهای متعددی برای مدیریت منابع آب کشاورزی در مقیاس‌های مختلف منطقه‌ای و ملی ارائه شده‌اند. این مطالعات عمدتاً بر ارزیابی تقاضای آب، تحلیل مخاطرات اقلیمی، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، سنجش از دور، مدل‌های آبی-اقتصادی و تحلیل راهبردی تمرکز داشته‌اند. همچنین تحلیل SWOT به عنوان ابزاری کارآمد برای تدوین راهبردهای پایدار در بسیاری از مطالعات به کار رفته است. با این حال، اغلب این پژوهش‌ها به‌طور محدود به حکمرانی آب در مقیاس محلی و تحلیل مکان‌محور عوامل تأثیرگذار بر مدیریت آب کشاورزی پرداخته‌اند. مطالعات انجام‌شده توسط سازمان همکاری و توسعه اقتصادی درباره شاخص‌های پایداری آب نشان می‌دهند که تحلیل در سطوح و مقیاس‌های محلی برای اثبات اثربخشی اصول پایداری آب ضروری است. تحلیل سیستم‌های منابع آب در مقیاس بزرگ، شامل منابع، ذی‌نفعان، مخازن و سامانه‌های انتقال آب، نیازمند در نظر گرفتن تعاملات میان چندین مؤلفه است.

نوآوری این پژوهش در ترکیب تحلیل راهبردی SWOT با رویکرد مکانی و مدل تصمیم‌گیری برای ارزیابی و اولویت‌بندی راهبردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای در سامانه منابع آب مورد مطالعه در مقیاس محلی است. این تلفیق نه تنها ابعاد مختلف حکمرانی آب را پوشش می‌دهد بلکه چارچوبی نوین برای برنامه‌ریزی راهبردی در سطح سامانه‌های آبی ارائه می‌دهد که می‌تواند در سیاست‌گذاری محلی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. هدف این پژوهش، تحلیل حکمرانی آب کشاورزی در سامانه منابع آب مورد مطالعه با استفاده از برنامه‌ریزی راهبردی مکانی در ترکیب با مدل‌های تصمیم‌گیری و یک مدل مفهومی مصارف آب کشاورزی است. در این راستا، ابتدا به شناسایی وضعیت فعلی منابع آب کشاورزی و تحلیل نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها در مقیاس محلی پرداخته می‌شود. سپس، با بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری، راهبردهای مدیریت آب کشاورزی تدوین و اولویت‌بندی می‌شوند. این راهبردها شامل اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای هستند که می‌توانند در جهت استفاده بهینه از منابع آب، افزایش بهره‌وری و دستیابی به توسعه پایدار در منطقه مورد مطالعه مورد بهره‌برداری قرار گیرند. پژوهش حاضر در پی آن است که با ارائه یک چارچوب تحلیلی تلفیقی، ابزار تصمیم‌سازی مناسبی برای مدیران و سیاست‌گذاران حوزه آب و کشاورزی فراهم سازد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

بررسی و شناخت نقاط ضعف و قوت و همچنین تهدیدها و فرصت‌های مرتبط با مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی در سامانه‌های منابع آب، می‌تواند در طراحی و استقرار سامانه مدیریت عرضه و تقاضای آب در این سامانه‌ها کمک شایانی نماید. رویکرد برنامه‌ریزی راهبردی با استفاده از فرآیندهای خاص نظیر گردآوری و تجزیه و تحلیل روشمند اطلاعات، جلب مشارکت

کنشگران، تدوین و ارزیابی گزینه‌های راهبردی، بررسی پیامدهای آتی و تأکید بر اجرای موفق، از سایر الگوهای برنامه‌ریزی متمایز می‌گردد. در این روش برنامه‌ریزی، مشارکت ذینفعان به‌عنوان یکی از اجزای اساسی در تدوین راهبردها مطرح است. در این مقاله یک چارچوب نوآورانه سه مرحله‌ای ارائه شده است که مدل مفهومی مصرف آب کشاورزی، برنامه‌ریزی راهبردی با استفاده از مدل تحلیلی SWOT و مدل تصمیم‌گیری تاپسیس فازی را ترکیب می‌کند. در شکل ۱ فرایند رویکرد سه مرحله‌ای مورد استفاده در این تحقیق ارائه شده است که در ادامه به توضیحات مرتبط با این فرایند پرداخته شده است.

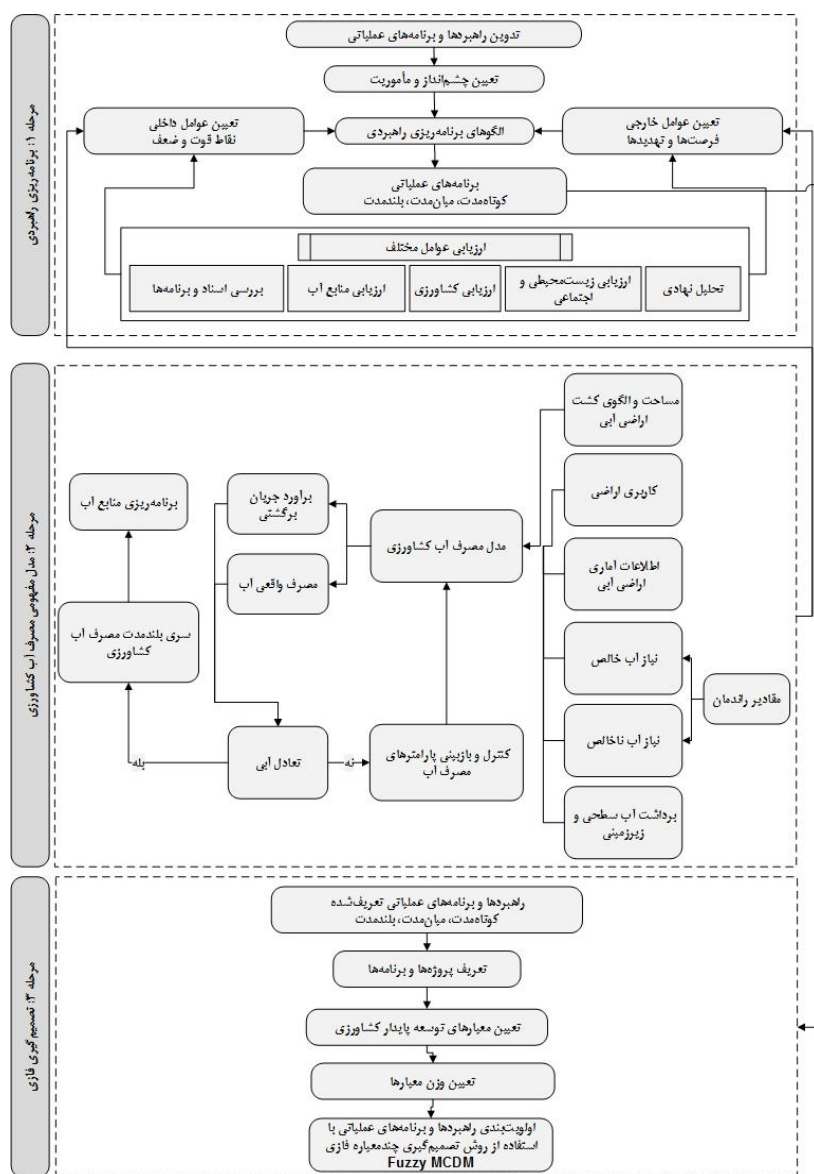
مقادیر مصارف آب کشاورزی در اراضی آبی محدوده مورد مطالعه شامل اراضی کشاورزی تحت پوشش سامانه منابع آب، بسته به شرایط اقلیمی منطقه، نوع منابع آب در دسترس (منابع آب سطحی شامل سدهای مخزنی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی پایین دست، رودخانه‌های محلی، زهکش‌ها، آب‌بندان‌ها و منابع آب زیرزمینی)، نحوه تأمین آب (ثقلی و پمپاژ از منابع مختلف)، الگوی کشت و کیفیت منابع آب و خاک، می‌تواند نسبت به نیاز آبی متفاوت باشد. لذا به منظور برآورد آب مصرفی در اراضی کشاورزی، اقدام به جمع‌آوری بانک اطلاعاتی آماربرداری مصارف آب در سطح محدوده مورد مطالعه شده است. با توجه به اینکه مقدار آب مصرفی در اراضی کشاورزی تابع عوامل مختلفی نظیر نوع منابع آب، روش انتقال و توزیع، روش آبیاری، نوع محصولات، شرایط اقلیمی منطقه، جنس و بافت خاک، پارامترهای مدیریتی و غیره است، لذا برآورد مقدار آب مصرفی کشاورزی در اراضی کشاورزی از پیچیدگی خاصی برخوردار است.

در این تحقیق بر اساس آمار و اطلاعات دریافتی مربوط به نقشه‌های کاربری اراضی و همچنین روند تغییرات حجم آب تحویلی به سامانه منابع آب مورد مطالعه طی سال‌های مختلف، برآورد حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در هر یک از بازه‌های پیکربندی محدوده مورد مطالعه به‌عنوان بازه‌های مصرف صورت گرفته است. در این فرایند مساحت اراضی کشاورزی، ترکیب کشت اراضی، توزیع ماهانه نیاز آبی خالص و ناخالص اراضی کشاورزی، نوع منابع آب (منابع آب سطحی شامل سد مخزنی و سامانه منابع آب پایین دست، رودخانه‌های محلی، آب‌بندان‌ها، زهکش‌ها و منابع آب زیرزمینی)، نحوه استحصال از منابع آب در هر بازه و همچنین مقادیر راندمان آبیاری در هر بازه به عنوان ورودی استفاده شده است. فرایند محاسبات به نحوی است که از یک سو وسعت و نیاز آبی ناخالص ماهانه و سالانه اراضی کشاورزی و از سوی دیگر مقادیر برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به تفکیک روش‌های استحصال آب در هر بازه مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس مقدار آب مصرفی اختصاص یافته از منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین مقادیر آب برگشتی به منابع آب سطحی برآورد می‌گردد.

پس از بررسی‌های انجام شده در خصوص وضعیت منابع و مصارف آب کشاورزی در محدوده مطالعاتی، اقدام به شناسایی نقاط قوت و ضعف و همچنین فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی مرتبط با مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی می‌گردد. هدف اصلی در برنامه‌ریزی راهبردی این تحقیق، شناخت و تجزیه و تحلیل عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف)، عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) و تدوین راهبردهای توسعه پایدار مدیریت آب کشاورزی در محدوده مورد مطالعه است. قلمرو مکانی این بررسی‌ها در سامانه منابع آب مورد مطالعه بوده که این تجزیه و تحلیل‌ها در بخش‌های مختلف انجام می‌پذیرد. در این مرحله، تحلیل بخش‌های مختلف شامل منابع و مصارف آب کشاورزی، مسائل اجتماعی، محیط‌زیستی و اقتصادی در محدوده مورد مطالعه، با استفاده از چارچوب تحلیلی SWOT که یکی از الگوها و مدل‌های برنامه‌ریزی راهبردی است، انجام می‌گردد.

به منظور انجام این تحلیل‌ها در ابتدا وضعیت موجود محدوده مورد مطالعه بررسی شده و در ادامه با ارزیابی عوامل داخلی و خارجی و تعیین نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها، به تجزیه و تحلیل یافته‌های این مطالعات با استفاده از مدل SWOT و ماتریس‌های مربوط به آن شامل ماتریس ارزیابی عوامل داخلی، ماتریس ارزیابی عوامل خارجی و ماتریس تلفیق عوامل داخلی و خارجی اقدام گردیده است. خروجی این گام، ارائه راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی در محدوده مورد مطالعه بوده که مبنای تعیین اولویت‌های منطقه‌ای به منظور ارائه برنامه اقدامات است. تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره داده‌های مکانی و غیرمکانی را تلفیق و وارد فرایند تصمیم‌گیری می‌نماید. در این فرایند رابطه‌ای بین نقشه‌های ورودی و خروجی تعریف می‌شود و طی آن داده

های مکانی و اولویت‌های فکری تصمیم‌گیرندگان به کار گرفته‌شده و بر اساس قوانین تصمیم‌گیری تجزیه و تحلیل می‌شوند (Malczewski, 2006).



شکل ۱. فرایند انجام تحقیق (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

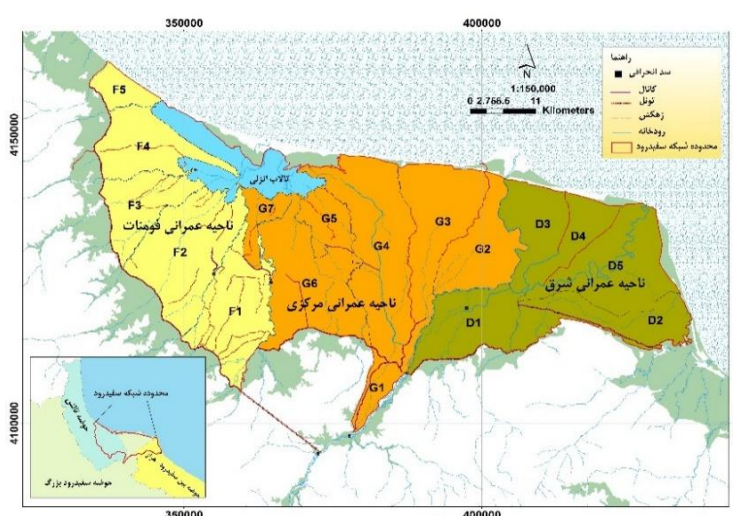
۳. یافته‌های پژوهش

در تحقیق حاضر، بررسی‌های جامعی در خصوص مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی در سامانه منابع آب مورد مطالعه انجام شد. بهره‌برداری بیش از حد و بدون توجه به اصول صحیح مدیریتی از منابع آب سبب شده است تا قابلیت عرضه آن کاهش یافته و در بسیاری از موارد کیفیت منابع آب نیز کاهش یابد. مفهوم توسعه پایدار که در کنفرانس جهانی حفاظت مطرح گردید به معنای توسعه اقتصادی و سازمانی است به‌گونه‌ای که استفاده مداوم از منابع طبیعی برای تامین نیازهای بشر را تضمین نماید (کمپسیون جهانی محیط زیست و توسعه^۱، ۱۹۸۷).

در این تحقیق سامانه منابع آب سد و شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود که به عنوان یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور در پایین‌دست سد سفیدرود در حوزه آبریز سفیدرود بزرگ، طی سالیان گذشته در حال بهره‌برداری است به‌عنوان

^۱. World Commission on Environment and Development

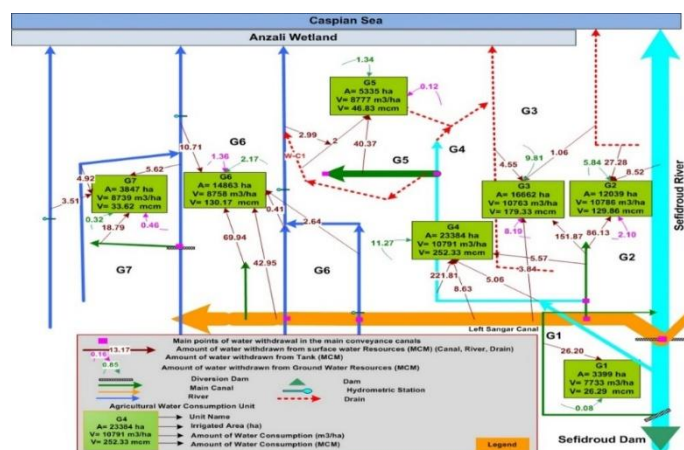
سامانه منابع آب مورد مطالعه مدنظر قرار گرفته است (شکل ۲). رودخانه سفیدرود به عنوان منبع اصلی تأمین آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بوده که آب رهائده از سد سفیدرود توسط سدهای انحرافی تاریک، گله رود و سنگر و همچنین کانال‌های منشعب از آن‌ها که به ترتیب شامل کانال فومن، کانال گله رود، کانال‌های راست و چپ سنگر می‌باشند، به نواحی مختلف شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود منتقل می‌شود. بر اساس آمار و اطلاعات، بیشترین مقدار حجم آب تحویلی به شبکه سفیدرود از سد سفیدرود در حدود ۲/۲ میلیارد مترمکعب در سال آماری ۷۳-۷۴ و کمترین مقدار آن در حدود ۰/۷ میلیارد مترمکعب در سال آماری ۷۷-۷۸ گزارش شده است. این در حالی است که متوسط درازمدت حجم آب ورودی به شبکه در حدود ۱/۶ میلیارد مترمکعب می‌باشد. کشت برنج به عنوان یکی از محصولات استراتژیک مهم، پهنه وسیعی از اراضی شبکه سفیدرود را پوشش می‌دهد. به گونه‌ای که در حدود ۹۴ درصد از کل اراضی کشاورزی شبکه به کشت برنج اختصاص دارد. شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود با مساحت جغرافیایی حدود ۲۸۴ هزار هکتار شامل سه ناحیه عمرانی شرق، مرکزی و فومنات در قالب ۱۷ واحد عمرانی است که در حال حاضر ۱۰ واحد عمرانی آن به صورت مدرن و مابقی به صورت سنتی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.



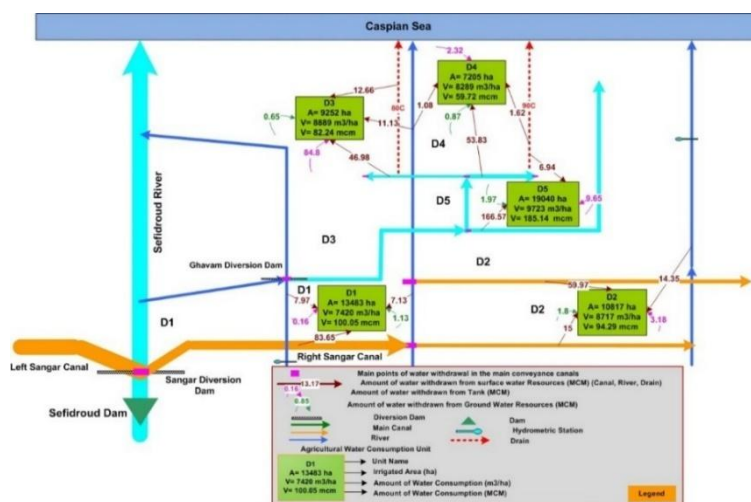
شکل ۲. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

در بررسی‌های صورت گرفته بر اساس آمار و اطلاعات دریافتی مربوط به نقشه‌های کاربری اراضی و همچنین روند تغییرات حجم آب تحویلی به شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود طی سال‌های مختلف، برآورد حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی صورت گرفته است. به منظور برآورد مقادیر مصرف آب کشاورزی در اراضی آبی و ارزیابی و تدقیق نتایج به دست آمده، اقدام به تهیه مدل مصرف آب در اراضی کشاورزی در هر یک از بازه‌های پیکربندی محدوده مورد مطالعه به عنوان بازه‌های مصرف، گردیده است.

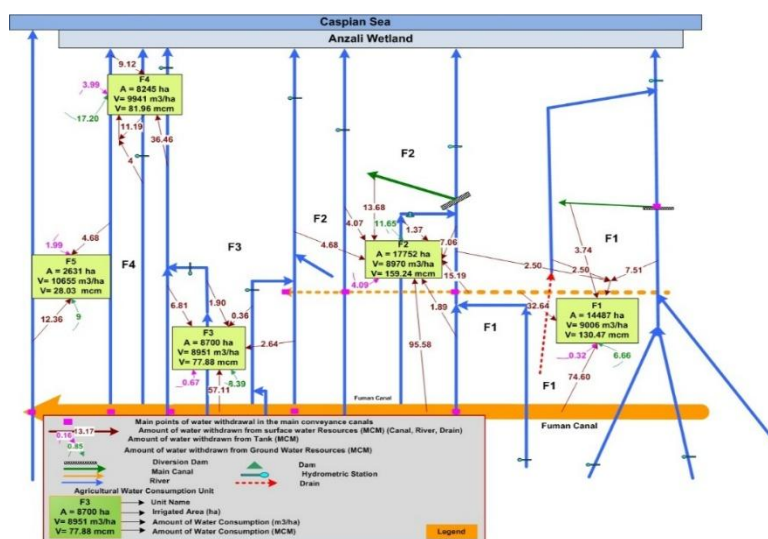
در شکل‌های ۳ الی ۵ و جدول ۱ نتایج مصارف آب کشاورزی به تفکیک واحدهای مدیریتی در نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود براساس میزان مصرف از منابع آبی مختلف (سد و شبکه آبیاری سفیدرود، رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها، آب‌بندان‌ها و منابع آب زیرزمینی) ارائه شده است. کل حجم آب مصرفی سالانه اراضی آبی در حدود ۱/۷ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که از این میزان در حدود ۱۷۰۷ میلیون مترمکعب (۹۵ درصد) از منابع آب سطحی و ۹۰ میلیون مترمکعب (۵ درصد) از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. از کل حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی در حدود ۱/۴ میلیارد مترمکعب از سد و شبکه سفیدرود، ۲۶۰ میلیون مترمکعب از رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها و در حدود ۴۷ میلیون مترمکعب از آب‌بندان‌ها مصرف می‌گردد.



شکل ۳. نتایج مصارف آب کشاورزی از منابع آبی مختلف به تفکیک واحدهای مدیریتی ناحیه عمرانی مرکزی شبکه سفیدرود (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)



شکل ۴. نتایج مصارف آب کشاورزی از منابع آبی مختلف به تفکیک واحدهای مدیریتی ناحیه عمرانی شرق شبکه سفیدرود (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)



شکل ۵. نتایج مصارف آب کشاورزی از منابع آبی مختلف به تفکیک واحدهای مدیریتی ناحیه عمرانی فومنات شبکه سفیدرود (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

جدول ۱. خلاصه نتایج مصارف آب کشاورزی به تفکیک نواحی عمرانی محدوده مطالعاتی (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

حجم آب مصرفی (م.م.م)							نواحی عمرانی
جمع کل	جمع زیرزمینی	جمع سطحی	آب‌بندان	رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها	شبکه سفیدرود	سطح اراضی آبی (هکتار)	
۵۲۱	۶	۵۱۵	۲۴	۶۵	۴۲۶	۵۹۷۹۷	شرق
۴۷۸	۵۳	۴۲۵	۱۱	۱۲۱	۲۹۳	۵۱۸۱۵	فومنات
۷۹۸	۳۱	۷۶۸	۱۲	۷۴	۶۸۱	۷۹۵۲۹	مرکزی
۱۷۹۷	۹۰	۱۷۰۷	۴۷	۲۶۰	۱۴۰۰	۱۹۱۱۴۱	مجموع شبکه سفیدرود

پس از بررسی‌های صورت گرفته در خصوص میزان منابع و مصارف آب کشاورزی به تفکیک واحدهای مدیریتی محدوده مورد مطالعه، نتایج مدل تحلیلی SWOT ارائه می‌گردد. مدل تحلیلی SWOT در مدیریت سیستم‌های پیچیده منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است (Tziritis et al., 2014). در تحقیق حاضر از تحلیل SWOT به منظور در نظر گرفتن شرایط موجود محدود مورد مطالعه (نقاط قوت و ضعف) و همچنین شرایط آبی (شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی) در محدوده شبکه آبیاری سفیدرود که با تغییرات سریع کاربری اراضی و طرح‌های توسعه منابع آب در بالادست مواجه است، استفاده شده است. مدل تحلیلی SWOT، اثرات منفی ناشی از نقاط ضعف و تهدیدها را با شناسایی و تبدیل آن به نقاط قوت و فرصت‌ها، به حداقل می‌رساند. در مدل تحلیلی SWOT فرض بر این است که نقاط قوت و ضعف مربوط به عوامل داخلی هستند، در حالی که فرصت‌ها و تهدیدها ناشی از تأثیرات خارجی‌اند.

در این تحقیق، اطلاعات و دانش بدست آمده از طریق مصاحبه‌های صورت گرفته با متخصصان در حوزه‌های مختلف، به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی تحلیل SWOT می‌باشد. دیدگاه‌ها و نظرات اعضای کمیته متخصصان تصمیم‌گیری که در زمینه‌های مختلف از جمله مسائل اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیست، فنی و بهره‌برداری دارای تجربه بوده، به منظور تدوین راهبردهای مدیریت آب کشاورزی مورد استفاده قرار گرفت. عوامل مربوط به نقاط قوت و فرصت‌ها، در بازه بین ۳-۴ و عوامل نقاط ضعف و تهدیدها در بازه بین ۱-۲ امتیازدهی شدند (David, 2011). لازم به ذکر است در صورتی که امتیاز نهایی عوامل داخلی و یا خارجی از ۲/۵ بیشتر شود، نقاط قوت/فرصت‌ها بر نقاط ضعف/تهدیدها ارجحیت دارند و بالعکس. لازم به ذکر است با توجه به ماهیت موضوع پژوهش و بهره‌گیری از روش‌های تحلیل چندمعیاره و مدل تحلیلی SWOT، جامعه آماری این تحقیق شامل مدیران، کارشناسان و بهره‌برداران آگاه و مرتبط با شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود می‌باشد. این افراد دارای تخصص یا تجربه عملی در حوزه‌های فنی، محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی مربوط به مدیریت منابع آب و کشاورزی در محدوده مورد مطالعه هستند. روش نمونه‌گیری در این پژوهش به صورت هدفمند^۱ انجام شده است؛ بدین معنا که انتخاب پاسخ‌دهندگان بر اساس معیارهای تخصص، تجربه و آگاهی نسبت به موضوع صورت گرفته است. در مجموع، تعداد ۳۰ پرسشنامه طراحی شده با معیارهای تحلیل مدل سلسله‌مراتبی و SWOT، در اختیار این افراد قرار گرفت. از این تعداد، ۲۷ پرسشنامه به‌طور کامل تکمیل و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل نهایی با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی و SWOT صورت پذیرفت.

نتایج مدل تحلیلی SWOT به منظور مدیریت آب کشاورزی در محدوده مورد مطالعه در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. در این جداول، به ترتیب فهرست عوامل داخلی و عوامل خارجی به همراه امتیازات وزنی مربوطه نشان داده شده است. عوامل داخلی و خارجی مدیریت آب کشاورزی شامل ۱۰ عامل قوت (S1-S10)، ۱۴ عامل ضعف (W1-W14)، ۶ عامل فرصت (O1-O6) و ۶ عامل تهدید (T1-T6) می‌باشند. امتیازات نهایی عوامل داخلی و خارجی به ترتیب معادل ۲/۹ و ۲/۷۳ برآورد شده است. بنابراین براساس منطق مطرح شده در این مدل تحلیلی (David, 2011) نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که مناسب‌ترین نوع راهبرد، راهبرد تهاجمی (SO) می‌باشد. براین اساس کلیه راهبردهای ممکن به صورت ترکیبی از دو راهبرد مرتبط شکل می‌گیرند. به نحوی که اگر نوع

^۱. Purposeful Sampling

راهبرد اصلی، راهبرد SO باشد، راهبردهای مرتبط ترکیبی از راهبردهای ST و WO، خواهد بود (David, 2011). براساس این قاعده، ۱۷ راهبرد در سه گروه راهبردی از طریق تطبیق عوامل داخلی (IFs) با عوامل خارجی (EFs)، بر مبنای تحلیل‌های مدل SWOT تدوین گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. گام بعد، مربوط به اولویت‌بندی مجموعه راهبردهای مدیریت آب کشاورزی با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، با ترکیبی از مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس، با رویکرد فازی می‌باشد. وزن معیارهای مرتبط با پایداری مدیریت آب کشاورزی براساس نظرات متخصصان حوزه مدیریت آب کشاورزی و با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. نرخ ناسازگاری (IR) برای ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه شده است که نشان دهنده سازگاری نتایج می‌باشد. شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌های مقایسه زوجی توسط ساعتی (۱۹۹۶) معرفی شد.

جدول ۲. نتایج تحلیل عوامل داخلی مدل SWOT و وزن‌های مربوطه (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

(S = Strength ; W = Weakness)

امتیاز وزنی (Weighted Rating)	عوامل داخلی (Internal Factors)
۰/۲۰۲	S1: بزرگ‌ترین شبکه آبیاری و زهکشی در ایران و دومین تولیدکننده برنج برای امنیت غذایی
۰/۱۹۰	S2: وجود یک شرکت بهره‌برداری با تجربه در حوزه بهره‌برداری و نگهداری از شبکه آبیاری و زهکشی
۰/۲۳۲	S3: توانمندی در تقویت نهادهای مدیریت آبیاری به واسطه سابقه طولانی در بهره‌برداری و نگهداری شبکه آبیاری
۰/۱۶۰	S4: وجود رویه مدیریتی توسط شرکت بهره‌برداری و نگهداری مطابق با مقررات شبکه آبیاری و زهکشی
۰/۳۲۰	S5: استقرار مرکز ملی تحقیقات برنج در استان و ظرفیت بالای این مرکز برای انجام تحقیقات کاربردی جهت افزایش بهره‌وری آب در اراضی شالیزاری
۰/۲۵۱	S6: احداث بیش از ۷۰۰ ایستگاه پمپاژ جدید در سال‌های اخیر بر روی رودخانه‌ها و زهکش‌های محلی جهت تأمین آب اراضی کشاورزی
۰/۲۱۲	S7: استفاده از روش آبیاری تناوبی در اراضی شالیزاری در سال‌های اخیر، به‌ویژه در دوره‌های اوج مصرف آب و کم‌آبی
۰/۲۷۳	S8: امکان تأمین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی از طریق استفاده تلفیقی از منابع مختلف آبی (سد سفیدرود، رودخانه‌های محلی، آب‌بندانه‌ها، چاه‌ها، چشمه‌ها و زهکش‌ها) با تکیه بر زیرساخت‌های موجود
۰/۳۱۲	S9: امکان بازسازی و بهبود آب‌بندانه‌ها با توجه به استفاده چندمنظوره آن‌ها (کشاورزی، آبی‌پروری و محیط‌زیست)
۰/۲۸۸	S10: شرایط آب و هوایی مرطوب و نیمه‌مرطوب و بارندگی بالا در منطقه مورد مطالعه
۰/۰۲۷	W1: عدم اجرای طرح توسعه کامل در ۷ واحد آبیاری در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
۰/۰۲۶	W2: بهره‌برداری و نگهداری نامناسب از تأسیسات شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
۰/۰۲۵	W3: بروز مشکلات در حین اجرا و بهره‌برداری به دلیل ناسازگاری طرح توسعه شبکه آبیاری با شبکه سنتی موجود
۰/۰۲۷	W4: کمبود زیرساخت‌های لازم برای انتقال آب در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
۰/۰۲۶	W5: نبود هماهنگی مناسب در توسعه شبکه آبیاری داخل مزرعه و تجهیز و نوسازی اراضی در حین توسعه و بازسازی شبکه اصلی آبیاری سفیدرود
۰/۰۲۶	W6: تحویل مستقیم آب به بیش از ۳۰۰,۰۰۰ بهره‌بردار توسط شرکت بهره‌برداری سفیدرود بدون مشارکت تشکلهای آب‌بران
۰/۰۳۰	W7: عدم شکل‌گیری نهادهای محلی تعاونی مدیریت آب جهت مشارکت در مدیریت، انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری
۰/۰۲۸	W8: نبود انگیزه کافی بین کشاورزان برای تشکیل تشکلهای آب‌بران در شرایط فعلی، به‌ویژه پس از شکست پروژه‌های پایلوت
۰/۰۲۹	W9: نبود سیستم پایش مصرف آب کشاورزی
۰/۰۳۴	W10: یکسان بودن تعرفه حقابه کشاورزی برای تمام اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری سفیدرود (شامل اراضی تحت پوشش کامل شبکه، رودخانه‌های محلی، چاه‌ها، زهکش‌ها) و نارضایتی کشاورزان
۰/۰۳۳	W11: طراحی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بر اساس روش آبیاری دائم
۰/۰۳۲	W12: عدم رعایت حریم کانالهای شبکه آبیاری (کشت محصول در حریم کانال‌ها) و افزایش نیاز آبی
۰/۰۳۴	W13: بی‌توجهی به لایروبی و نگهداری نامناسب کانال‌ها و آب‌بندانه‌ها
۰/۰۸۶	W14: ناتوانی در توانمندسازی بهره‌برداران آب برای استفاده پایدار از منابع آب کشاورزی
۲/۹	امتیاز نهایی عوامل داخلی

جدول ۳. نتایج تحلیل عوامل خارجی مدل SWOT و وزن‌های مربوطه (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)
(O = Opportunity; T = Threat)

امتیاز وزنی (Weighted Rating)	عوامل خارجی (External Factors)
۰/۲۵	O1: پتانسیل مناسب منابع خاک، شرایط اقلیمی و توپوگرافی برای کشت محصول برنج (به عنوان یک محصول استراتژیک) و اراضی باغی
۰/۲۲	O2: پتانسیل مناسب منابع آب داخلی برای شبکه آبیاری سفیدرود شامل رودخانه‌های محلی، سدها و منابع آب زیرزمینی برای تأمین آب، به‌ویژه در شرایط خشکسالی
۰/۲۲	O3: فرصت‌های تأمین مالی از سوی سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی
۰/۳۰	O4: ترویج توریسم کشاورزی و صنایع وابسته به بخش کشاورزی
۰/۳۲	O5: امکان توسعه استفاده از جریان آبهای برگشتی کشاورزی برای تأمین بخشی از آب مورد نیاز اراضی کشاورزی، به‌ویژه در دوره‌های اوج مصرف و کم‌آبی، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و ساخت تأسیسات فنی (نظیر سدهای لاستیکی و انحرافی) در پایین‌دست رودخانه‌ها و زهکش‌های طبیعی
۰/۲۷	O6: وجود قوانین، رویه‌ها، استانداردها و دستورالعمل‌های فنی برای مدیریت منابع آب کشاورزی
۰/۰۹	T1: پیش‌بینی کاهش در میزان آب ورودی به مخزن سد سفیدرود به دلیل اجرای طرح‌های توسعه منابع آب در حوزه بالادست
۰/۱۶	T2: افزایش تقاضای آب به دلیل تغییر کاربری زمین و تبدیل اراضی شالیزاری به استخرهای پرورش ماهی
۰/۱۳	T3: افزایش رقابت بین بخش کشاورزی و سایر بخش‌ها مانند آبی‌پروری و صنعت
۰/۱۱	T4: برداشت غیراصولی شن و ماسه از بستر رودخانه‌های محلی و افزایش عمق آن‌ها و تشدید آسیب‌پذیری تأسیسات آب‌گیر به‌ویژه در شرایط سیلابی
۰/۱۳	T5: ناپایداری نهادهای مدیریت آبیاری و توسعه غیرهم‌افزای بخش کشاورزی
۰/۱۳	T6: کاهش کیفیت منابع آبی به دلیل تخلیه پساب‌های شهری و صنعتی به رودخانه‌ها و زهکش‌ها، به‌ویژه در منطقه مرکزی شبکه آبیاری سفیدرود
۲/۷۳	امتیاز نهایی عوامل خارجی

جدول ۴. راهبردهای مدیریت آب کشاورزی بر مبنای تحلیل SWOT (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

شماره راهبرد	شرح راهبرد	نوع راهبرد
SO-1	توسعه و بازسازی آب‌بندانه‌ها در شبکه آبیاری سفیدرود	راهبرد تهاجمی (SO)
SO-2	انتقال آب بین حوزه‌های درون شبکه آبیاری سفیدرود از طریق ساخت سدهای انحرافی و لاستیکی در پایین‌دست رودخانه‌ها و زهکش‌های دارای آب مازاد	
SO-3	امکان اجرای بازار آب کشاورزی در مناطق آبیاری شبکه سفیدرود	
SO-4	توسعه توریسم کشاورزی در شبکه آبیاری سفیدرود	
SO-5	اجرای پروژه‌های توسعه آبیاری با تأمین مالی از نهادهای ملی و بین‌المللی	
SO-6	توسعه و اجرای شبکه اصلی آبیاری و زهکشی در ۷ واحد باقی‌مانده از شبکه آبیاری سفیدرود	
SO-7	بازسازی و نوسازی شبکه آبیاری سفیدرود در واحدهای آبیاری در حال بهره‌برداری (۱۰ واحد آبیاری)	
SO-8	توسعه شبکه آبیاری و زهکشی داخل مزرعه در مناطق باقی‌مانده شبکه آبیاری سفیدرود	
ST-1	برنامه‌ریزی کاربری زمین به‌ویژه در اراضی شالیزاری	راهبرد رقابتی (ST)
ST-2	تقویت نهادهای مدیریت آبیاری شبکه سفیدرود با مشارکت عمومی	
ST-3	نظارت بر بهره‌برداری شبکه آبیاری سفیدرود توسط شرکت‌های مهندسی مشاور و ارائه گزارش‌ها و مستندات برای نهادهای مدیریت آبیاری	
ST-4	تدوین برنامه‌های مدیریت پایدار منابع آب با در نظر گرفتن طرح‌های توسعه بالادست حوزه سفیدرود	
ST-5	ارزیابی وضعیت موجود شبکه آبیاری سفیدرود از نظر مصرف آب کشاورزی و چالش‌های پیش‌روی این بخش	
WO-1	ایجاد سامانه پایش مصرف آب کشاورزی در شبکه آبیاری سفیدرود	راهبرد محافظه کارانه (WO)
WO-2	ایجاد تشکلهای آب‌بران جهت ارتقای مشارکت ذی‌نفعان از طریق آموزش، برگزاری کارگاه‌ها و ارتقای ظرفیت نهادهای مدیریت آبیاری در شبکه سفیدرود	
WO-3	کاهش تلفات آب در شبکه آبیاری سفیدرود برای ارتقای بهره‌وری آبیاری از طریق اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای	
WO-4	توانمندسازی و مشارکت جوامع محلی و افزایش توان رقابتی واحدهای آبیاری سفیدرود	

جدول ۵. نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

معیارهای تصمیم‌گیری	مقادیر وزن (Weight)	λ_{max} , CI, RI	CR
C1	۰/۳۵۶	$\lambda_{max} = 7.87$	0.1
C2	۰/۲۸۷	CI= 0.14	
C3	۰/۲۳۱	RI= 1.3	
C4	۰/۱۲۶		

C1: Technical and operational criteria, C2: environmental criteria, C3: socio-political criteria, C4: economic criteria, λ_{max} : maximum eigenvalue, CI: Consistency index, RI: Random index

- شاخص سازگاری (C.I.) (Saaty, 1996):

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

رابطه ۱)

در رابطه ۱، λ_{max} بیشترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد. براساس مراجع معتبر (Saaty, 1996) ماتریس مقایسه زوجی با شاخص سازگاری (C.I.) معادل یا کمتر از ۰/۱، دارای سازگاری است. لازم به ذکر است که شاخص C.I. با بعد ماتریس (n) تغییر می‌کند. به همین دلیل، به منظور اندازه‌گیری درجه ناسازگاری نسبت سازگاری (C.R.) توسط ساعتی معرفی شد:

- نسبت سازگاری (C.R.) (Saaty, 1996):

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

رابطه ۲)

در رابطه ۲، شاخص R.I. مربوط به شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی با مرتبه n می‌باشد که با روش شبیه‌سازی مونت کارلو تولید می‌شود. یک ماتریس مقایسه زوجی با نسبت سازگاری (C.R.) معادل یا کمتر از یک، از درجه قابل قبولی از سازگاری برخوردار است. لازم به ذکر است که شاخص R.I. با افزایش مرتبه ماتریس (n) به عدد ۱/۵۸ همگرا می‌شود (Saaty, 1996). براساس تحلیل‌های انجام شده، راهبردهای اصلی به شرح زیر تعریف شد: St-1 (۱) توسعه و بهسازی ساختار فیزیکی سامانه منابع آب شبکه آبیاری سفیدرود، St-2 (۲) بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه آبیاری سفیدرود، St-3 (۳) مدیریت زیست‌محیطی، St-4 (۴) انتقال آب بین‌حوزه‌ای از منابع آب داخلی محدوده مورد مطالعه. در ادامه، این راهبردها با رویکرد تلفیقی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس در محیط تصمیم‌گیری فازی رتبه‌بندی شدند.

ماتریس تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده با استفاده از وزن معیارهای بدست آمده از روش AHP محاسبه شد. ماتریس تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده در جدول ۶ نشان داده شده است. در این جدول St-1، St-2، St-3 و St-4، راهبردها (استراتژی‌های مدیریت آب کشاورزی) و C1، C2، C3 و C4، نشان‌دهنده معیارهای تصمیم‌گیری می‌باشد. جدول ۶ نشان می‌دهد که عناصر $\tilde{v}_{ij}$ برای همه مقادیر i و j در بازه [0,1] نرمال شده‌اند. بهترین و بدترین راه‌حل‌های فازی در جدول ۶ ارائه شده است.

راهبردها براساس فاصله آنها از بهترین و بدترین راه‌حل بر مبنای شاخص CC_i محاسبه شده است، رتبه‌بندی شدند. نتایج محاسبات مربوط به شاخص CC_i در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که ترکیبی از راهبردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای (راهبردهای SO، ST و WO) با شاخص CC_i معادل ۰/۲۴۸ از منظر مدیریت آب کشاورزی در رتبه اول قرار می‌گیرد. رتبه‌بندی راهبردها براساس شاخص CC_i در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده برای راهبردهای مدیریت آب کشاورزی (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

	C1	C2	C3	C4
St-1	(0.211,0.281,0.351)	(0,0,0.048)	(0.125,0.156,0.156)	(0.04,0.061,0.081)
St-2	(0.14,0.211,0.281)	(0.048,0.095,0.143)	(0.062,0.094,0.125)	(0.061,0.081,0.101)
St-3	(0.281,0.351,0.351)	(0.143,0.19,0.238)	(0,0.031,0.062)	(0.081,0.101,0.101)
St-4	(0.07,0.14,0.211)	(0.19,0.238,0.238)	(0,0,0.031)	(0.04,0.061,0.081)
Ideal (+)	$\tilde{v}_1^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_2^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_3^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_4^* = (1,1,1)$
Ideal (-)	$\tilde{v}_1^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_2^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_3^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_4^- = (0,0,0)$

St-1: Development/Rehabilitation/Renewing of the Sefidroud irrigation network; St-2: Improve the management of operation and maintenance of the Sefidroud irrigation network; St-3: Wastewater management; and St-4: Inter-Basin water transfer within the Sefidroud irrigation network; C1: Technical and operational criteria, C2: Environmental criteria, C3: Socio-Political criteria, C4: Economic criteria.

جدول ۷. اولویت‌بندی راهبردها براساس مقدار شاخص CC_i (ماخذ: نتایج حاصل از تحقیق حاضر)

اولویت‌بندی راهبردها	CC_i	D_i^-	D_i^*	راهبرد
۳	-۰/۲۲۱	۱/۵۲۳	۵/۴۸۰	St-1
۲	-۰/۲۲۳	۱/۵۸۶	۵/۴۶۰	St-2
۱	-۰/۲۴۸	۱/۷۳۹	۵/۲۸۰	St-3
۴	-۰/۲۱۴	۱/۵۰۵	۵/۵۲۴	St-4

St-1: Development/Rehabilitation/Renewing of the Sefidroud irrigation network; St-2: Improve the management of operation and maintenance of the Sefidroud irrigation network; St-3: Wastewater management; and St-4: Inter-Basin water transfer within the Sefidroud irrigation network.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اجرای طرح‌های توسعه منابع آب، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تغییر کاربری در بالادست حوزه آبریز سفیدرود بزرگ از یک سو و از سوی دیگر با در نظر گرفتن مسائل و مشکلات موجود در تامین آب اراضی کشاورزی ناشی از کاهش آبدی و ورودی به سد سفیدرود، مشکلات موجود در ساختار فیزیکی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، خشکسالی‌های متناوب اخیر، روند رو به رشد توسعه استخرهای پرورش ماهی و همچنین تغییرات احتمالی اقلیم و ...، پیش‌بینی کاهش حجم آب تخصیص یافته به اراضی کشاورزی و کمبود قابل توجه منابع آب در سالهای آتی دور از انتظار نخواهد بود. در این تحقیق با ارائه الگوریتمی جامع، ضمن برآورد مصارف آب کشاورزی در سامانه منابع آب مورد مطالعه، به ارائه راهکارهای مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی پرداخته شد. به‌گونه‌ای که رویکرد برنامه‌ریزی راهبردی مکانی در تلفیق با مدل‌های تصمیم‌گیری به منظور اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت آب کشاورزی مدنظر قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مکانی عوامل داخلی و خارجی مرتبط با مدیریت آب کشاورزی شامل ماتریس تحلیلی نقاط قوت، ضعف، فرصتها و تهدیدها مورد استفاده قرار گرفت. راهبردها با روش AHP و تاپسیس در محیط تصمیم‌گیری فازی اولویت‌بندی شدند. برای تعیین وزن معیارها از روش AHP و از مدل تاپسیس در محیط تصمیم‌گیری فازی به منظور اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت آب کشاورزی در محدوده مورد مطالعه، استفاده شد. به گونه‌ای که از متغیرهای زبانی که قابل تبدیل به اعداد فازی مثلثی هستند، جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در فرایند تصمیم‌گیری استفاده شده است. لازم به ذکر است که یک مدل تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن راهبردهای مدیریت آب کشاورزی براساس مجموعه‌ای از معیارهای تعریف شده، توسعه داده شد. مدل توسعه داده شده در این تحقیق، مفاهیم منطق فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تاپسیس (TOPSIS) را برای حل یک مسئله چندمعیاره در شرایط عدم قطعیت ترکیب می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که ترکیبی از راهبردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای (راهبردهای SO، ST و WO) جزء بهترین راهبردها با اولویت بالا هستند. این راهبردها بهترین مسیر را برای بهبود کشاورزی پایدار و کاهش تنش‌های اجتماعی ارائه می‌دهند. به‌طور خلاصه می‌توان گفت سیاست‌های اجرایی

موردنظر در ارائه این راهکارها، با تأکید بر مدیریت توأمان عرضه و تقاضا مدنظر قرار گرفته است. برنامه اقدامات پیشنهادی در جهت بهبود مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی در اراضی آبی سامانه منابع آب مورد مطالعه شامل توسعه و بهسازی ساختار سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، مدیریت زیست‌محیطی و استحصال از منابع آب داخلی سامانه منابع آب مورد مطالعه می‌باشد. در یک مطالعه موردی انجام شده، نقاط قوت و فرصت‌های شناسایی شده به منظور بهینه‌سازی مدیریت منابع آب کشاورزی، مورد استفاده قرار گرفت (Wickramasinghe & Takano, 2009). نتایج حاصل از ماتریس تحلیل سیاستی در سه کشور غنا، بوركینافاسو و نیجر نشان داد که مداخلات سیاستی نظیر یارانه‌های نهاده‌ای و تعرفه‌های وارداتی، به دلیل وجود نارسایی‌های بازار از جمله محدودیت دسترسی به سرمایه، رقابت‌ناپذیری بازار داخلی و کیفیت پایین برنج محلی، تأثیر قابل توجهی بر افزایش سودآوری تولید برنج برای کشاورزان نداشته‌اند. این یافته‌ها بر ضرورت بهبود کیفیت و عملکرد برنج از طریق مدیریت مؤثرتر منابع آب، فرآوری و نگهداری پس از برداشت و اصلاح نژاد هدفمند متناسب با ترجیحات مصرف‌کنندگان تأکید دارند (Katic et al., 2013). در پژوهشی دیگر، به دلیل تفاوت‌های مکانی اثرات تغییرات اقلیمی و اجتماعی-اقتصادی در مناطق مختلف کشور چین، پیچیدگی مدیریت منابع آب کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. چارچوبی پویا برای شناسایی انواع مناطق و تدوین راهبردهای هدفمند مدیریت آب کشاورزی ارائه شد. هشت منطقه‌ی تولید محصولات اصلی کشاورزی با تحلیل تغییرات فضایی-زمانی در چهار بعد کشاورزی، طبیعی، اجتماعی و اقتصادی طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ شناسایی شدند. سپس، وضعیت آینده این مناطق تا سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تحت سه سناریوی اقلیمی و اجتماعی مختلف بررسی گردید. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۸۰ مصرف آب در تولید محصولات اصلی در تمام سناریوها افزایش می‌یابد و نیمی از مناطق مورد بررسی با تغییر کارکرد از مناطق کم‌مصرف به پرمصرف مواجه خواهند شد. این واکنش‌های ناهمگون مناطق مختلف نسبت به تغییرات جهانی، به‌ویژه در مناطق مستعد تغییر کارکرد، نیازمند توجه و مدیریت ویژه است. در نهایت، این مطالعه بر اهمیت در نظر گرفتن ردپای آب در تعیین مناطق کشاورزی و مدیریت پایدار منابع آب تأکید دارد و راهبردهای منطقه‌ای و اولویت‌دار برای مدیریت بهتر منابع آب کشاورزی در مواجهه با تغییرات جهانی پیشنهاد شد (Ji et al., 2024).

در مطالعه‌ای دیگر، مدیریت آب کشاورزی به عنوان بخش کلیدی بهره‌وری مصرف آب در مناطق آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. تحقیق در سه منطقه نمونه آبیاری در حوزه رودخانه‌ای در شمال چین انجام شد. برای ارزیابی مدیریت آب کشاورزی، یک سیستم شاخص متشکل از پنج شاخص اصلی شامل فناوری، مهندسی، مدیریت، محیط‌زیست و اقتصاد تدوین گردید که در قالب ۵ شاخص سطح دوم، ۱۴ شاخص سطح سوم و ۳۵ شاخص سطح چهارم طبقه‌بندی شدند. وزن هر شاخص با استفاده از روش سلسله مراتبی تعیین شد و سپس با بهره‌گیری از روش‌های همبستگی خاکستری و ارزیابی جامع فازی، سطح مدیریت آب کشاورزی در سه منطقه ارزیابی شد. نتایج نشان داد شاخص‌های مهندسی و مدیریتی بیشترین تأثیر را در مدیریت آب کشاورزی دارند. این تحقیق مبنای نظری مناسبی برای ارتقای سطح مدیریت آب کشاورزی و بهبود بهره‌وری مصرف آب در مناطق آبیاری شمال چین فراهم می‌سازد (Sun et al., 2017).

در پژوهشی دیگر، تأثیرات استراتژی‌های مدیریت آب کشاورزی در منطقه آبیاری هتاو^۱، بزرگ‌ترین پروژه آبیاری در امتداد رودخانه زرد چین، بر هیدرولوژی و محیط زیست مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل داده‌های بلندمدت (۱۹۵۴ تا ۲۰۱۳) نشان می‌دهد که آبیاری کنترل‌نشده و نبود سیستم زهکشی مؤثر در ابتدا منجر به افزایش سطح آب زیرزمینی، تشدید شوری خاک و گسترش دریاچه وولیانگ‌سوها^۲ شد. با استفاده از استراتژی اجرای سیستم زهکشی مصنوعی و به‌کارگیری روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، روند بهبود در کاهش سطح آب زیرزمینی و کنترل شوری خاک مشاهده شد. نتایج نشان داد که برای حفاظت از محیط زیست دریاچه، وجود زه‌آب با شوری پایین ضروری است. بنابراین، ایجاد تعادل میان کنترل شوری خاک، کیفیت آب زیرزمینی، شرایط

^۱. Hetao

^۲. Wuliangsuhai

مناسب برای پوشش گیاهی طبیعی و حفاظت از تالاب، امری ضروری است. همچنین، انجام تحقیقات بیشتر برای تدوین راهکارهای بهینه مدیریت آب کشاورزی، به‌ویژه در چارچوب برنامه‌های بازسازی صرفه‌جویانه، توصیه شد (Li et al., 2020). کایاتز و همکاران (Kayatz et al., 2024)، قابلیت استفاده از یک مدل آگروهیدرولوژیکی بدون کالیبراسیون و با استفاده از داده‌های جهانی اقلیم، خاک و محصول، به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت آب کشاورزی در شرایط کمبود داده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های جهانی تأثیر ناچیزی بر خطای جذر میانگین مربعات تبخیر و تعرق روزانه داشت، اما انحراف مدل در استفاده از داده‌های جهانی به‌مراتب بیشتر بود. همچنین، شناسایی دوره‌های تنش آبی با دقت مناسبی همراه بود، اما مقدار نیاز آبیاری با داده‌های جهانی به‌طور قابل توجهی بیش‌برآورد شد. این تحقیق نشان داد که با وجود محدودیت‌های داده‌ای، برخی خروجی‌های مدل مانند دوره‌های تنش آبی و روند روزانه مصرف آب می‌توانند به عنوان استراتژی‌های موثر در تصمیم‌گیری‌ها مفید باشند.

تدوین راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب به منظور مقابله با پیچیدگی‌هایی نظیر چندسطحی بودن تصمیم‌گیری‌ها، اهداف متنوع، کاربران مختلف آب و وجود عدم قطعیت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش با هدف مقابله مؤثر با این پیچیدگی‌ها، یک روش بهینه‌سازی نوین را معرفی کرد که شامل مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندسطحی و چندهدفه و روش کمی‌سازی وزن‌دهی برای تدوین الگوهای پایدار تخصیص آب در مناطق کشاورزی خشک می‌باشد. کاربرد این رویکرد در یک منطقه کشاورزی خشک در شمال غرب چین نشان داد که نتایج بهینه‌سازی تحت سناریوهای مختلف جریان سطحی، مجموعه‌ای از گزینه‌های تصمیم‌گیری را برای سطوح مختلف مدیریتی فراهم می‌کند و همچنین موجب کاهش برداشت آب زیرزمینی می‌شود (Zhang et al., 2020).

راهبردهای مدیریت آب و سیاست‌های تخصیص منابع آب به منظور ایجاد جوامع کشاورزی مقاوم در مناطق آفریقا، مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، محققان به بررسی تحقیقات و سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز برای بهبود کشاورزی با تمرکز بر فناوری و نهادهای پرداخته و فرصت‌های بهبود تولید محصولات دیم را مورد توجه قرار دادند. در این راستا، مجموعه‌ای از راهبردهای مدیریت آب در سه حوزه آبریز که طی برنامه تحقیقاتی چالش آب و غذا بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، بررسی شد. نتایج نشان داد که نوآوری‌های فنی و نهادی در مدیریت آب برای ایجاد و حفظ تاب‌آوری جوامع کشاورزی حیاتی هستند. طراحی و اجرای مؤثر این راهبردها نیازمند مشارکت و مشورت بین پژوهشگران، خانوارها، سرمایه‌گذاران و سایر ذی‌نفعان با نقش مدیریتی یا نظارتی است (Cofie & Amede, 2015).

ارزیابی مصرف و کارایی آب در فرآیند تولید تا مصرف محصولات کشاورزی، بعنوان یکی از راهبردهای موثر برای مدیریت منابع آب کشاورزی در سطح منطقه‌ای مطرح می‌باشد. در پژوهش انجام شده توسط محققان (Cao et al., 2022)، چارچوبی برای ارزیابی کارایی مصرف آب طراحی شد که فرآیندهای کاشت، تبادل و مصرف محصولات را به هم پیوند می‌دهد. با استفاده از برآورد جریان آب مجازی آبیاری بین‌استانی برای غلات در چین، تأثیر این جریان بر کارایی مصرف آب آبیاری استان‌ها و پیامدهای مدیریتی آن بررسی شد. چارچوب پیشنهادی می‌تواند الهام‌بخش پژوهش‌های آتی در زمینه ارزیابی، مدیریت و سیاست‌گذاری منابع آب کشاورزی، با در نظر گرفتن آب فیزیکی و مجازی باشد.

براساس موارد مطرح شده، در خصوص برنامه اقدام توسعه و بهسازی ساختار شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود لازم است که اشاره شود با توجه به اینکه در حال حاضر شبکه اصلی آبیاری و زهکشی در ۷ واحد از ۱۷ واحد عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود شامل واحدهای G2، G3 و G4 از ناحیه عمرانی مرکزی، واحدهای عمرانی F4 و F5 از ناحیه عمرانی فومنت و واحدهای عمرانی D4 و D5 از ناحیه عمرانی شرق شبکه آبیاری سفیدرود، به صورت کامل اجرا نشده است، لزوم تکمیل و اجرای شبکه اصلی آبیاری و زهکشی در سطح حدود ۹۰۰۰۰ هکتار در واحدهای عمرانی فوق می‌بایست به عنوان یکی از مهمترین اولویت‌های کاری در محدوده شبکه آبیاری سفیدرود مورد بررسی قرار گیرد. انجام برنامه اقدامات لازم در واحدهای عمرانی مذکور به همراه احداث شبکه فرعی در این اراضی به عنوان مکمل شبکه اصلی، منجر به افزایش راندمان‌های انتقال، توزیع و کاربرد در اراضی تحت پوشش این نواحی خواهد شد. یکی از برنامه اقدامات موثر در جهت استفاده حداکثری از منابع آب داخلی محدوده مورد مطالعه،

استفاده از پتانسیل طبیعی آب‌بندان‌ها به عنوان مخازن ذخیره آب در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود می‌باشد. براساس برآوردهای صورت گرفته، تعداد کل آب‌بندان‌های محدوده مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی ۵۲۷ قطعه و سطح کل آب‌بندان‌های مذکور ۴۹۳۵ هکتار می‌باشد. حجم کل آب قابل ذخیره در این آب‌بندانها در حدود ۱۹۷ میلیون مترمکعب در شرایط احیا و بهسازی برآورد شده است. لازم به ذکر است که اغلب آب‌بندان‌ها احتیاج به بازسازی و بهسازی بخصوص لایروبی، نصب دریچه‌های ورودی و خروجی دارند که این مسائل در مناطقی که منحصراً منبع تامین آب آنها از شبکه می‌باشد و منبع دیگری برای تامین آب ندارند و در طی سال با مشکلات کم‌آبی مواجه هستند، بیشتر به چشم می‌خورد. همچنین علی‌رغم اجرای شبکه اصلی آبیاری و زهکشی در ۱۰ واحد از ۱۷ واحد عمرانی شبکه آبیاری سفیدرود، به علت مشکلات بهره‌برداری در واحدهای عمرانی مذکور ناشی از فرسودگی دریچه‌های آبیگری، سازه‌های تنظیم سطح آب ثابت و خودکار، برداشت‌های غیرمجاز در طول شبکه و ...، بهبود و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی در سطح حدود ۱۰۲۰۰۰ هکتار در واحدهای عمرانی مذکور لازم و ضروری می‌باشد.

همگام با اجرای برنامه اقدامات مدیریت عرضه که پیشتر اشاره گردید، مجموعه برنامه اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای مدیریت تقاضا شامل توسعه و بهسازی ساختار سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود و همچنین بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از این سامانه می‌بایست مدنظر قرار گیرد. حجم آب ذخیره شده در اثر اجرای این برنامه اقدامات حدود ۳۷۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است. به نحوی که در اثر اجرای برنامه اقدامات سازه‌ای مدیریت تقاضا شامل: توسعه شبکه اصلی آبیاری و زهکشی در ۷ ناحیه عمرانی باقی‌مانده در محدوده ۸۹۰۰۰ هکتار با حجم آب قابل ذخیره ۴۵ میلیون متر مکعب، بهبود و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی در نواحی عمرانی در حال بهره‌برداری (۱۰ واحد عمرانی) در محدوده ۱۰۱۰۰۰ هکتار با حجم آب قابل ذخیره ۴۱ میلیون متر مکعب، توسعه شبکه فرعی آبیاری و زهکشی در محدوده اراضی باقی‌مانده (مجاری درجه سه) در محدوده ۱۲۰۰۰۰ هکتار با حجم آب قابل ذخیره ۳۴ میلیون متر مکعب، تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری در محدوده اراضی باقی‌مانده از شبکه آبیاری سفیدرود (به‌همراه مجاری درجه چهار) در محدوده ۱۲۰۰۰۰ هکتار با حجم آب قابل ذخیره ۳۴ میلیون متر مکعب، استقرار سامانه مدیریت آبیاری در محدوده شبکه آبیاری سفیدرود در محدوده ۱۷۹۰۰۰ هکتار با حجم آب قابل ذخیره ۷۴ میلیون متر مکعب و توسعه مکانیزاسیون اراضی شالیزاری در محدوده ۱۲۰۰۰۰ هکتار با حجم آب قابل ذخیره ۴۹ میلیون مترمکعب، پیش‌بینی می‌شود که در حدود ۲۷۷ میلیون مترمکعب مصرف آب کشاورزی را کاهش داد. این در حالی است که اجرای برنامه اقدامات غیرسازه‌ای مدیریت تقاضا شامل اصلاح مدیریت بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود با مشارکت مردمی در محدوده ۱۹۱۰۰۰ هکتار و توسعه تشکل‌های آب‌بران در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود (در محدوده ۱۷۹۰۰۰ هکتار) با افزایش راندمان انتقال و توزیع آب منجر به ذخیره‌سازی ۹۸ میلیون مترمکعب در سال خواهد شد. به عبارت دیگر، مقدار مصرف به میزان ۹۸ میلیون مترمکعب در سال کاهش خواهد یافت. با توجه به توضیحاتی که ارائه شد، کاربرد روش‌شناسی ارائه شده در این تحقیق منحصر به سامانه منابع آب مورد مطالعه در این تحقیق نبوده و رویکرد برنامه‌ریزی راهبردی مکانی پیشنهادی در این تحقیق در تلفیق با مدل‌های تصمیم‌گیری و همچنین یک مدل مفهومی مصارف آب کشاورزی، می‌تواند در سایر سامانه‌های منابع آب بزرگ مقیاس مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Abbasi, N., Bahramloo, R., & Movahedan, M. (2015). Strategic planning for remediation and optimization of irrigation and drainage networks: A case study for Iran. *Journal of Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.025>
- Abdelhaleem, F. S., Basiouny, M., Ashour, E., & Mahmoud, A. (2021). Application of remote sensing and geographic information systems in irrigation water management under water scarcity conditions in Fayoum, Egypt. *Journal of Environmental Management*, 299, 113683. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113683>
- Acharjee, T. K., Hellegers, P., Ludwig, F., Halsema, G., Mojid, M., & Terwisscha, C. (2020). Prioritization of adaptation measures for improved agricultural water management in Northwest Bangladesh. *Journal of Climatic Change*, 163, 431–450. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02690-6>
- Alamanos, A., Latinopoulos, D., Loukas, A., & Mylopoulos, N. (2020). Comparing two hydro-economic approaches for multi-objective agricultural water resources planning. *Journal of Water Resources Management*, 34, 4511–4526. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02690-6>
- Amin, S. H., Razmi, J., & Zhang, G. (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Journal of Expert Systems with Applications*, 38(1), 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.071>
- Baccour, S., Albiac, J., Kahil, T., Esteban, E., Crespo, D., & Dinar, A. (2021). Hydroeconomic modeling for assessing water scarcity and agricultural pollution abatement policies in the Ebro River Basin, Spain. *Journal of Cleaner Production*, 327, 129459. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129459>
- Baumgartner, R. J., & Korhonen, J. (2010). Strategic thinking for sustainable development. *Journal of Sustainable Development*, 18(2), 71–75. <https://doi.org/10.1002/sd.452>
- Baumgartner, R. J., & Rauter, R. (2017). Strategic perspectives of corporate sustainability management to develop a sustainable organization. *Journal of Cleaner Production*, 140, 81–92.
- Cao, X., Li, Y., & Wu, M. (2022). Irrigation water use and efficiency assessment coupling crop cultivation, commutation and consumption processes. *Agricultural Water Management*, 261, 107370. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107370>
- Cofie, O., & Amede, T. (2015). Water management for sustainable agricultural intensification and smallholder resilience in sub-Saharan Africa. *Journal of Water Resources and Rural Development*, 6, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.wrr.2015.10.001>
- Conrad, C., Usman, M., Morper-Busch, L., & Schönbrodt-Stitt, S. (2020). Remote sensing-based assessments of land use, soil and vegetation status, crop production and water use in irrigation systems of the Aral Sea Basin: A review. *Journal of Water Security*, 11, 100078. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100078>
- David, F. R. (2011). *Strategic management concepts and cases*. Prentice Hall.
- Drishya, J., & Sathish Kumar, D. (2023). Evaluation of the drought management measures in a semi-arid agricultural watershed. *Journal of Environment, Development and Sustainability*, 25(1), 811–833. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02079-4>
- Garcia, L. E. (2008). Integrated water resources management: A small step for conceptualists, a giant step for practitioners. *Journal of Water Resources Development*, 24(1), 23–36.
- Gaur, A., Biggs, T. W., Gumma, M. K., Parthasaradhi, G., & Turrall, H. (2008). Water scarcity effects on equitable water distribution and land use in a major irrigation project: Case study in India. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(1), 26–35. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:1\(26\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:1(26))
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Journal of Climatic Change*, 134, 371–385. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- Hughes, D. A., & Farinosi, F. (2020). Assessing development and climate variability impacts on water resources in the Zambezi River basin: Simulating future scenarios of climate and development. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 100763. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100763>
- Ji, X., Zhuo, L., Yue, Z., Gao, R., Li, M., & Wu, P. (2024). Spatial and temporal dynamic zoning of crop water consumption under past and future climate and socioeconomic changes in China. *Journal of Sustainable Production and Consumption*, 50, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.07.024>

- Kamdi, P. J., Swain, D. K., & Wani, S. P. (2023). Developing climate change agro-adaptation strategies through field experiments and simulation analyses for sustainable sorghum production in semi-arid tropics of India. *Journal of Agricultural Water Management*, 286, 108399. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108399>
- Kamran, M., Fazal, M. R., & Mudassar, M. (2020). Towards empowerment of the renewable energy sector in Pakistan for sustainable energy evolution: SWOT analysis. *Journal of Renewable Energy*, 146, 543–558. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.165>
- Karamian, F., Mirakzadeh, A. A., & Azari, A. (2021). The water-energy-food nexus in farming: Managerial insights for a more efficient consumption of agricultural inputs. *Journal of Sustainable Production and Consumption*, 27, 1357–1371. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.008>
- Katic, P. G., Namara, R. E., Hope, L., Owusu, E., & Fujii, H. (2013). Rice and irrigation in West Africa: Achieving food security with agricultural water management strategies. *Journal of Water Resources and Economics*, 1, 75–92. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2013.03.001>
- Kayatz, B., Baroni, G., Hillier, J., Lüdtke, S., Freese, D., & Wattenbach, M. (2024). Supporting decision-making in agricultural water management under data scarcity using global datasets: Chances, limits and potential improvements. *Journal of Agricultural Water Management*, 296, 108803. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108803>
- Li, D., Zhang, J., Wang, G., Wang, X., & Wu, J. (2020). Impact of changes in water management on hydrology and environment: A case study in North China. *Journal of Hydro-environment Research*, 28, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2019.04.001>
- Li, X., Zhang, C., & Huo, Z. (2020). Optimizing irrigation and drainage by considering agricultural hydrological process in arid farmland with shallow groundwater. *Journal of Hydrology*, 585, 124785. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124785>
- Loucks, D. P. (2000). Sustainable water resources management. *Journal of Water International*, 25(1), 3–10. <https://doi.org/10.1080/02508060008686793>
- Malczewski, J. (2006). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.01.003>
- Meza, F., et al. (2021). Drought risk for agricultural systems in South Africa: Drivers, spatial patterns, and implications for drought risk management. *Journal of Science of the Total Environment*, 799, 149505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149505>
- Nyam, Y. S., Kotir, J. H., Jordaan, A. J., & Ogundej, A. A. (2021). Developing a conceptual model for sustainable water resource management and agricultural development: The case of the Breede River catchment area, South Africa. *Journal of Environmental Management*, 67, 632–647. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01399-x>
- Petousi, I., Fountoulakis, M., Papadaki, A., Sabathianakis, I., Daskalakis, G., Nikolaidis, N., & Manios, T. (2017). Assessment of water management measures through SWOT analysis: The case of Crete Island, Greece. *Journal of Environmental Science*, 2, 59–622.
- Porkka, M., Gerten, D., Schaphoff, S., Siebert, S., & Kummu, M. (2016). Causes and trends of water scarcity in food production. *Journal of Environmental Research Letters*, 11(1), 015001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/1/015001>
- Portoghese, I., Giannoccaro, G., Giordano, R., & Pagano, A. (2021). Modeling the impacts of volumetric water pricing in irrigation districts with conjunctive use of surface and groundwater resources. *Journal of Agricultural Water Management*, 244, 106561. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106561>
- Psomas, A., Vryzidis, I., Spyridakos, A., & Mimikou, M. (2021). MCDA approach for agricultural water management in the context of water–energy–land–food nexus. *Journal of Operational Research*, 21, 689–723. <https://doi.org/10.1007/s12351-018-0436-8>
- Ragab, R., & Hamdy, A. (2004). Water management strategies to combat drought in the semiarid regions. *Journal of Water Management for Drought Mitigation in the Mediterranean*, 328.
- Rouillard, J., & Rinaudo, J. D. (2020). From state to user-based water allocations: An empirical analysis of institutions developed by agricultural user associations in France. *Journal of Agricultural Water Management*, 239, 106269. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106269>
- Saaty, T. L. (1996). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. RWS Publication.

- Sadr, S. M., Casal-Campos, A., Fu, G., Farmani, R., Ward, S., & Butler, D. (2020). Strategic planning of the integrated urban wastewater system using adaptation pathways. *Journal of Water Research*, 182, 116013. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116013>
- Sevcli, M., Oztekin, A., Uysal, O., Torlak, G., Turkyilmaz, A., & Delen, D. (2012). Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey. *Journal of Expert Systems with Applications*, 39(1), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.06.047>
- Srdjevic, Z., Bajcetic, R., & Srdjevic, B. (2012). Identifying the criteria set for multi-criteria decision making based on SWOT/PESTLE analysis: A case study of reconstructing a water intake structure. *Journal of Water Resources Management*, 26(12), 3379–3393. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0077-2>
- Sun, H., Wang, S., & Hao, X. (2017). An improved analytic hierarchy process method for the evaluation of agricultural water management in irrigation districts of north China. *Journal of Agricultural Water Management*, 179, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.002>
- Thaler, T., Nordbeck, R., Löschner, L., & Seher, W. (2020). Cooperation in flood risk management: Understanding the role of strategic planning in two Austrian policy instruments. *Journal of Environmental Science & Policy*, 114, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.001>
- Thomson, J., et al. (2020). Spatial conservation action planning in heterogeneous landscapes. *Journal of Biological Conservation*, 250, 108735. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108735>
- Tziritis, E., Panagopoulos, A., & Arampatzis, G. (2014). Development of an operational index of water quality (PoS) as a versatile tool to assist groundwater resources management and strategic planning. *Journal of Hydrology*, 517, 339–350.
- Wang, Y., Xu, L., & Solangi, Y. A. (2020). Strategic renewable energy resources selection for Pakistan: Based on SWOT-Fuzzy AHP approach. *Journal of Sustainable Cities and Society*, 52, 101861. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101861>
- Wickramasinghe, V. S. K., & Takano, S. E. (2009). Application of combined SWOT and analytic hierarchy process (AHP) for tourism revival strategic marketing planning. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 7(8), 189–189. Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- Youzhi, W., Alexander, F., & Ping, G. (2021). A model integrating the system dynamic model with the risk-based two-stage stochastic robust programming model for agricultural-ecological water resources management. *Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-01972-8>
- Zhang, F., Guo, S., Liu, X., Wang, Y., Engel, B. A., & Guo, P. (2020). Towards sustainable water management in an arid agricultural region: A multi-level multi-objective stochastic approach. *Journal of Agricultural Systems*, 182, 102848. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102848>