تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۱ | بهمن ۱۴۰۰ (ص ۲۸۹۶-۲۸۷۵)

https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.332626.669109

(مقاله علمی - پژوهشی)

Conceptual and Analytical Framework of Agricultural Water Management Strategies using an Integrated Approach of Strategic Planning and Multi-Criteria Decision-Making Model

AHMAD RADMEHR[1*], OMID BOZORG HADDAD[1]

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Oct. 22, 2021- Revised: Nov. 26, 2021- Accepted: Dec. 8, 2021)

ABSTRACT

Sustainable water resources management in order to achieve sustainable development will be realized considering social, economic, environmental, water resource, and consumption components. Accordingly, in the present study, a new conceptual framework in the form of fuzzy strategic planning in combination with multi-criteria spatial decision-making models was proposed for the development of sustainable agricultural water management strategies. Proposed action plans based on executive policies of water supply and demand management to increase water productivity, including the development and rehabilitation of the physical structure of water resources system of Sefidrood irrigation network, improvement of operation management and maintenance of water resources system of Sefidrood irrigation network, wastewater management and water withdrawal from the internal water resources of Sefidrood system. Also, the action plans were presented spatially in the form of zoning maps at the level of irrigation zones of the Sefidrood irrigation network. Then, in order to prioritize the action plan in the irrigation zones of the Sefidrood irrigation network fuzzy multi-criteria decision model was used. The results of the model showed that the Fumanat irrigation zone with an index value of 0.151 was selected as the first priority in terms of spatial action plans. The results of sensitivity analysis showed that in five scenarios out of seven available scenarios, the Fumanat irrigation zone was ranked first in terms of implementation of supply and demand management action plan. Therefore, it can be said that considering that one of the basic principles of management is the knowledge of management priorities, this model and the results can be a good solution for the implementation of sustainable management of water resources and consumption in large-scale water resources systems.

Keywords: Strategic Planning, Action Plan, Supply and Demand Management, Multi-Criteria Decision Making, *Sefidroud* Irrigation and Drainage Network.

* Corrsponding Author's Email: Radmehr@ut.ac.ir

ارائه چارچوب مفهومی و تحلیلی راهبردهای مدیریت آب کشاورزی با استفاده از رویکرد تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

احمد رادمهر[1*]، امید بزرگ‌حداد[1]

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۳۰- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۵- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۱۷)

چکیده

مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی در سامانه‌های منابع آب به‌منظور رسیدن به توسعه پایدار با در نظر گرفتن مؤلفه‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، منابع و مصارف محقق خواهد شد. بر این اساس در مطالعه حاضر یک چارچوب مفهومی در قالب برنامه‌ریزی راهبردی در تلفیق با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای توسعه راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی پیشنهاد شد. برنامه اقدامات پیشنهادی بر اساس سیاست‌های اجرایی مدیریت عرضه و تقاضای آب در جهت افزایش بهره‌وری آب 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 موردمطالعه بیان گردید که این برنامه اقدامات به‌صورت مکانی در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی شده در سطح نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود ارائه شد. سپس، به‌منظور اولویت‌بندی برنامه اقدامات در نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود شامل ناحیه عمرانی مرکزی، ناحیه عمرانی شرق و ناحیه عمرانی فومنات به‌عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد کل حجم آب مصرفی سالانه اراضی آبی در شرایط نرمال در حدود ۱/۸ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که از این میزان در حدود ۱۷۰۷ میلیون مترمکعب (٪۹۵) از منابع آب سطحی و ۹۰ میلیون مترمکعب (٪۵) از منابع آب زیرزمینی است. نتایج مدل نشان داد که ناحیه عمرانی فومنات با شاخص معادل ۰/۱۵۱ به‌عنوان اولویت اول ازنظر اجرای برنامه اقدامات مکانی انتخاب شد. بر اساس نتایج تحلیل مدل، در پنج سناریوی وزن‌دهی از کل هفت سناریوی موجود، ناحیه عمرانی فومنات در رتبه اول ازنظر اجرای برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا قرار گرفت. بنابراین می‌توان عنوان کرد با توجه به اینکه یکی از اصول اولیه مدیریت، اطلاع از اولویت‌های مدیریتی است، این الگو و نتایج حاصل از آن می‌تواند راهکار مناسبی جهت اعمال مدیریت پایدار منابع و مصارف آب در سامانه‌های منابع آب بزرگ‌مقیاس باشد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی راهبردی، برنامه اقدام، مدیریت عرضه و تقاضا، تصمیم‌گیری چندمعیاره، شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود.

مقدمه

امروزه علاوه بر بحران کمیت و کیفیت آب، عدم مدیریت صحیح بحران آب خصوصاً آب کشاورزی به‌عنوان چالشی بسیار مهم مطرح است. این چالش تا حدی ریشه در فقدان سازگاری با تغییر اقلیم، افزایش جمعیت و رقابت شدید میان شهرها، کشاورزان، صنایع، تأمین‌کنندگان انرژی و بوم‌سازگان، دارد (Gosling, 2016). در دهه‌های گذشته مهم‌ترین چالش مدیران منابع آب، تأمین و عرضه آب از مناطق مختلف دوردست 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*

* نویسنده مسئول: Radmehr@ut.ac.ir

al., 2020; Portoghese *et al.*, 2020). بررسی نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط پژوهشگران حاکی از وجود راه‌کارهای مختلف سازه‌ای و غیر سازه‌ای برای مدیریت آب کشاورزی و ایجاد سیستم مدیریت عرضه و تقاضای آب در شبکه‌های بزرگ آبیاری و زهکشی 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 درنظر گرفتن تعامل پیچیده بین اجزای مختلف، توسط Meza *et al.* (2021) ارائه شد. در تحقیق ایشان از رویکردهای مدلسازی و سنجش از دور در انتخاب شاخص‌های آسیب‌پذیری خشکسالی استفاده شد . Baccour *et al.* (2021) تخصیص آب و آلودگی کشاورزی را به منظور مدیریت پایدار آب در حوضه‌ای 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 انجام‌شده توسط Gaur *et al.* (2008) نشان می‌دهد که بهبود راندمان توزیع آب در کانال‌های شبکه آبیاری در سال‌های پرآبی 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 شبکه‌های بزرگ آبیاری و زهکشی مطرح است.

Abdelhaleem *et al.* (2021) از رویکرد مدل‌سازی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور مدیریت آب کشاورزی استفاده کردند. در مطالعه ایشان تغییرات سطح زیرکشت اراضی کشاورزی و بروزرسانی تقاضای آب آبیاری بر اساس شاخص های مختلف پوشش گیاهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در مطالعه دیگری که دریکی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در کشور هند توسط Venot *et al.* (2010) انجام‌شده است، استراتژی‌های مدیریتی توسط مدیران و کشاورزان در طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۰ که مقادیر آب در دسترس در نوسان بوده است، موردبررسی قرارگرفته است. پاسخ کشاورزان به تغییر شرایط ناشی از مقادیر آب در دسترس، شامل مواردی نظیر تغییر الگوی کشت، جابجایی تقویم زراعی، استفاده تلفیقی از منابع آب قابل‌دسترس و ... بوده است. همچنین تأثیر استراتژی‌های مدیریتی در مناطق بالادست و پایین‌دست شبکه متفاوت از یکدیگر بوده است. به‌منظور رسیدن به معیارهای توسعه پایدار در سطح حوضه‌های آبریز نیازمند به استفاده از رویکردهای برنامه-ریزی راهبردی است (Loucks, 2000). منظور از توسعه پایدار، توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی است به‌نحوی‌که نیازهای جوامع امروز را برآورده کرده و مانع برآوردن نیازهای نسل‌های آتی نگردد (Baumgartner & Korhonen, 2010). سه بعد مدیریت راهبردی عبارتنداز فرآیند راهبردی، محتوای راهبردی و زمینه راهبردی است (Baumgartner & Rauter, 2016). برنامه‌ریزی راهبردی یک مأموریت سازمانی را تعریف می-کند، برنامه‌ها را اولویت‌بندی کرده و فرصت‌ها و منافع بالقوه را در زمینه‌هایی مانند تجارت و مدیریت به حداکثر می‌رساند (David, 2011). تجزیه‌وتحلیل SWOT شامل برنامه‌ریزی استراتژیک برای ارزیابی وضعیت یک سیستم با در نظر گرفتن نقاط قوت[1](S)، نقاط ضعف[2](W)، فرصت‌ها[3](O) و تهدیدها[4](T) است (Srdjevic *et al.*, 2012). Yang *et al.* (2018) از تجزیه‌وتحلیل راهبردی برای توسعه استراتژی‌های صنایع مبتنی بر منابع تجدید پذیر و مناسب‌ترین رویکردها استفاده کردند. در مطالعه انجام‌شده توسط Petousi, *et al.*(2017)، تجزیه‌وتحلیل راهبردی برای اقدامات مختلف مرتبط با مدیریت منابع آب انجام شد و نتایج با کاربران، مدیران آب، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران موردبحث قرار گرفت.. Tziritis, *et al.* (2014) یک رویکرد برنامه‌ریزی راهبردی در مقیاس حوضه رودخانه برای ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی ارائه دادند. در تحقیق ایشان، یک تحلیل مقایسه‌ای از کیفیت منابع آب زیرزمینی در مقیاس حوضه‌ای ارائه شد. تعیین رویکرد استراتژیک مربوط به مدیریت آب در آفریقا توسط Gallego and Ju´ızo(2011) با استفاده از ماتریس تجزیه‌وتحلیل استراتژیک انجام شد. برنامه‌ریزی کاربری اراضی کشاورزی به‌عنوان یک روش استراتژیک نقش مهمی در مدیریت ریسک سیل دارد. دو رویکرد برنامه‌ریزی استراتژیک در مدیریت ریسک سیل در اتریش، توسط Thaler, *et al.* (2020) موردبررسی قرار گرفت. در مطالعه ایشان، از ابزار برنامه‌ریزی فضایی در مقیاس حوضه آبریز به‌منظور شناسایی مناطق مستعد سیلاب استفاده شد.

Abdallah *et al.* (2020) یک مدل بهینه‌سازی به‌منظور تعیین راهبردهای مدیریت پسماند را ارائه دادند. برای این منظور از مدل‌سازی ریاضی غیرخطی در قالب چارچوب بهینه‌سازی سیستماتیک استفاده شد. نتایج نشان داد که راهبردهای انتخاب‌شده، انرژی کافی برای تأمین حدود ۴/۲٪ از کل تقاضای انرژی در امارات متحده عربی را فراهم می‌کنند. سیستم‌های

1Strengths
2Weaknesses
3Opportunity
4Threat

ارزیابی راهبردی محیط‌زیستی در منطقه آفریقای شمالی بر اساس چارچوب‌های قانونی و نهادی در قالب بررسی مقایسه‌ای در خصوص وضعیت و کاربرد سیستم‌های موجود توسعه داده شد (Rachid & Fadel, 2013). استفاده از تکنیک‌های تصمیم گیری چندمعیاره، امکان ارزیابی سیستماتیک عوامل را فراهم می‌کند (Kajanus *al*., 2012). تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل شبکه با مدل تحلیلی SWOT توسط محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت (Kahraman *et al*., 2007; Yuksel & Dagdeviren, 2007; Chang & Huang, 2006).

علی‌رغم مطالعات صورت گرفته در خصوص مدیریت پایدار آب نظیر (Tropp, 2007; Tortajada, 2010; Wostl *et al*., 2010 & 2013; Lautze *et al*., 2011; Hartmann & Spit, 2014) و همچنین اصول حکمرانی آب (Akhmouch & Correia, 2016)، مدیریت پایدار آب در مقیاس محلی نظیر شبکه‌های آبیاری و جنبه کاربردی اصول معرفی‌شده در مقیاس محلی کمتر موردتوجه قرارگرفته است. همچنین تجربیات ارائه‌شده توسط OECD[1] بر اساس شاخص‌های حکمرانی آب[2] (WGI) نشان می‌دهد که فقط تجزیه‌وتحلیل‌های عمیق و جامع در سطوح محلی و حوضه‌ای می‌تواند بیان‌گر کارایی اصول حکمرانی آب باشد.

بر اساس آنچه ذکر شد، در سامانه‌های منابع آب بزرگ‌مقیاس علاوه بر در نظر گرفتن اجزاء متعدد شامل منابع، مصرف‌کنندگان، ذینفعان، مخازن ذخیره و سامانه‌های انتقال آب لازم است تعاملات میان اجزاء موجود در سامانه نیز در نظر گرفته شوند. بنابراین در مطالعه حاضر به دلیل بزرگ و پیچیده بودن سامانه لازم است از رویکردی استفاده گردد که ضمن تحلیل و ارزیابی عوامل مؤثر بر مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی، توانایی ارائه راهکارها و برنامه اقدامات مکانی در مقیاس‌های مختلف سامانه منابع آب موردمطالعه را داشته باشد. بدین ترتیب تعادل‌بخشی منابع و مصارف در قالب مدیریت پایدار در سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود به‌عنوان محدوده موردمطالعه ازنظر جنبه‌های توسعه پایدار (اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی) مدنظر بوده که برای دست‌یابی به این هدف، ارائه چارچوب مفهومی و تحلیلی راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی با استفاده از رویکرد تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره موردتوجه قرارگرفته است. اگرچه محققان مختلف به ارزیابی پایداری منابع آب از دیدگاه‌های متفاوت و با روش‌های مختلف پرداخته‌اند، اما در مطالعه حاضر رویکردی جدید در قالب توسعه ابزاری جدید برای سنجش پایداری یک سامانه منابع آب بزرگ‌مقیاس مدنظر قرارگرفته است.

بر این اساس در مطالعه حاضر سعی شده است به‌منظور پوشش مفهوم توسعه پایدار و پایداری در سامانه‌های منابع آب تنها به یک رویکرد منفرد تکیه نداشته و مجموعه‌ای از رویکردها در قالب معرفی راهکارها و برنامه اقدامات مکانی را موردنظر قرارداد. آنچه در این میان از اهمیت فراوان برخوردار است، تبیین راهبردها و برنامه اقدامات مکانی است که این مهم با استفاده از رویکرد تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره محقق خواهد شد.

بر این اساس در تحقیق حاضر، ضمن بررسی نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی شبکه آبیاری سفیدرود، اقدام به ارائه چارچوب مفهومی و تحلیلی راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی با استفاده از رویکرد تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با در نظر گرفتن موارد زیر خواهد شد:

ارائه چارچوب مفهومی و تحلیلی به‌منظور تبیین راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی و تعیین برنامه اقدامات مکانی در مقیاس محلی.

شناسایی و ارزیابی وضعیت موجود منابع و مصارف آب کشاورزی و تجزیه‌وتحلیل مکانی عوامل داخلی و خارجی مرتبط با مدیریت آب کشاورزی.

ارزیابی و اولویت‌بندی برنامه اقدامات مکانی مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی به تفکیک مناطق مدیریتی.

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی الگوی تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

برنامه‌ریزی راهبردی با استفاده از فرآیندهای خاص نظیر گردآوری گزینشی اطلاعات، تجزیه‌وتحلیل روشمند، 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. با توجه به موارد فوق به‌منظور تدوین راهبردهای مکانی به تفکیک مناطق مدیریتی از الگوی تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی استفاده‌شده است.

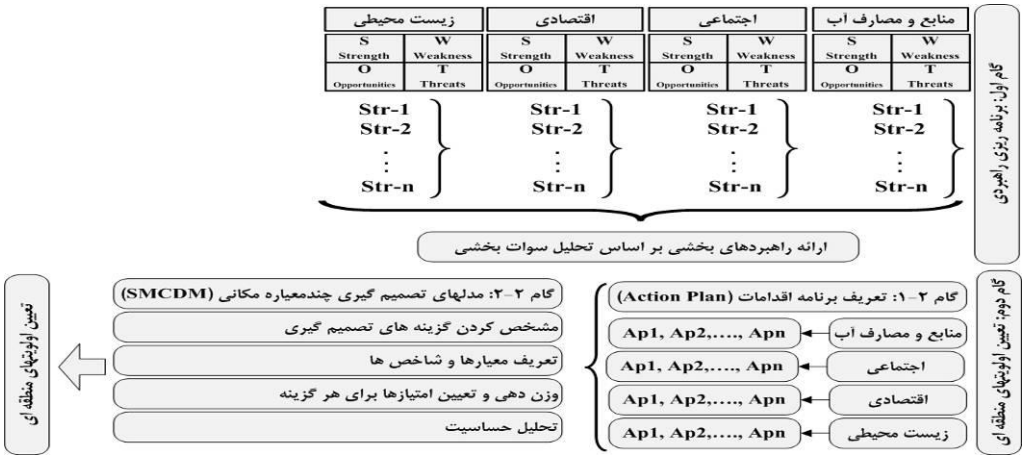
رویکرد و روش‌شناسی الگوی تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی در شکل (۱) ارائه‌شده است. فرآیند تبیین راهبردها بر اساس چارچوب پیشنهادی در

1Organization for Economic Co-operation and Development

2Water Governance Indicators

این تحقیق مشخصاً باهدف بهبود فرآیند از مرحله طراحی تا اجرای سیاست، در این تحقیق مدنظر قرارگرفته است. بر اساس مطالعات انجام‌شده قبلی، وجود چالش‌های اجرایی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب متداول است (Barrett, 2004; Mitchell, 2011). بطوریکه اجرای مؤثر سیاست‌های یکپارچه آب در سطح جهان رخ نمی‌دهد و منجر به ایجاد "شکاف اجرایی سیاست" شده که نتیجه آن روند دشوار انتقال سیاست به اقدام است (Barbosa *et al*., 2016).

همان‌طور که در شکل (۱) ملاحظه می‌گردد، این فرآیند از دو گام کلی شامل برنامه‌ریزی راهبردی و تعیین اولویت‌های منطقه‌ای تشکیل‌شده است که در ادامه توضیحاتی در این خصوص ارائه‌شده است.



شکل ۱- رویکرد الگوی تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تحقیق

گام ۱: برنامه‌ریزی راهبردی بر اساس مدل تحلیلی سوات (SWOT)

هدف اصلی در برنامه‌ریزی راهبردی این تحقیق، شناخت و تجزیه‌وتحلیل عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف)، عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) و تدوین راهبردهای توسعه پایدار مدیریت آب کشاورزی در محدوده موردمطالعه است. قلمرو مکانی این بررسی‌ها در محدوده شبکه آبیاری سفیدرود است که این تجزیه‌وتحلیل‌ها در بخش‌های مختلف انجام می‌پذیرد. در این مرحله، تحلیل بخش‌های مختلف شامل منابع و مصارف آب کشاورزی، مسائل اجتماعی، محیط زیستی و اقتصادی در محدوده موردمطالعه، با استفاده از چارچوب تحلیلی سوات (SWOT) که یکی از الگوها و مدل‌های برنامه‌ریزی راهبردی است، انجام می‌گردد.

به‌منظور انجام این تحلیل‌ها در ابتدا وضعیت موجود محدوده موردمطالعه بررسی‌شده و در ادامه با ارزیابی عوامل داخلی و خارجی و تعیین نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها، به تجزیه‌وتحلیل 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 موردمطالعه بوده که مبنای تعیین اولویت‌های منطقه‌ای به‌منظور ارائه برنامه اقدامات مکانی است.

گام ۲: تعیین اولویت‌های منطقه‌ای بر اساس مدل‌های تصمیم-گیری چندمعیاره

در برنامه‌ریزی راهبردی منابع آب، شناخت طیف آینده‌های محتمل مهم است. در برنامه‌ریزی راهبردی محدوده موردمطالعه، ارائه راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی باید روی جنبه‌هایی از مسائل اقتصادی- اجتماعی- محیط‌زیستی متمرکز شوند که مستقیماً بر محیط‌های درونی و بیرونی تأثیر خواهند داشت. تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره داده‌های مکانی و غیر مکانی را تلفیق و وارد فرآیند تصمیم‌گیری می‌نماید. در این فرآیند رابطه ای 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 تجزیه‌وتحلیل می‌شوند (Malczeweski, 1999). بدین منظور بر اساس راهبردهای منتخب بخشی از گام اول، برنامه اقدامات در قالب اولویت‌های منطقه‌ای قابل‌تعریف است. به‌گونه‌ای که در واحدهای تصمیم‌گیری و مدیریتی در محدوده موردمطالعه بر اساس تحلیل-های راهبردی انجام‌شده در بخش‌های مختلف، مجموعه‌ای از راهبردهای توسعه پایدار مدیریت آب کشاورزی استخراج می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر خروجی گام اول در محدوده موردمطالعه

که مجموعه‌ای از راهبردهای توسعه پایدار مدیریت آب کشاورزی بوده، پایه و اساس تعریف اولویت‌های منطقه‌ای در گام دوم است. نحوه تعیین اولویت‌های منطقه‌ای در محدوده موردمطالعه به‌گونه‌ای است که در ابتدا کلیه برنامه اقدامات با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی بر اساس راهبردهای منتخب از گام اول و همچنین تعریف معیارها و شاخص‌های مرتبط، تعریف می‌گردد. این برنامه اقدامات می‌توانند سازه‌ای، غیر سازه‌ای و یا ترکیبی از این دو بوده که در هر دو بخش تأمین و تقاضا قابل مطرح‌شدن هستند. در ادامه این برنامه اقدامات در قالب اولویت‌های منطقه‌ای به تفکیک مناطق مدیریتی ارائه می‌گردد. نظر به اینکه یکی از عوامل اصلی و تاثیرگذار در تبیین راهبردهای مکانی در محدوده مورد مطالعه، تعیین چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی می‌باشد، در ادامه به تفصیل توضیحاتی در خصوص فرایند برآورد منابع و مصارف آب کشاورزی در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.

برآورد مصارف آب کشاورزی در محدوده مورد مطالعه

مقادیر مصارف آب کشاورزی در اراضی آبی محدوده موردمطالعه شامل اراضی کشاورزی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بسته به شرایط اقلیمی منطقه، نوع منابع آب قابل‌دسترس (شبکه سفیدرود، رودخانه‌های محلی، زهکش‌ها، آب‌بندان‌ها و منابع آب زیرزمینی)، نحوه تأمین آب (ثقلی و پمپاژ از منابع مختلف)، نوع محصولات کشت‌شده و کیفیت منابع آب‌وخاک، می‌تواند نسبت به نیاز آبی متفاوت باشد. لذا به‌منظور برآورد آب مصرفی در اراضی کشاورزی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، اقدام به جمع‌آوری بانک اطلاعاتی آماربرداری مصارف آب در سطح محدوده موردمطالعه شده است. ازآنجاکه مقدار آب مصرفی در اراضی کشاورزی تابع عوامل مختلفی اعم از 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 در وضعیت موجود 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 شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود طی سال‌های مختلف بر اساس آمار و اطلاعات دریافتی از شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی سفیدرود، برآورد حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با توجه به شرایط مختلف در سال‌های نرمال و کم‌آبی در هر یک از بازه‌های پیکربندی محدوده موردمطالعه به‌عنوان بازه‌های مصرف صورت گرفته است. در این فرآیند مساحت اراضی کشاورزی، ترکیب کشت اراضی، توزیع ماهانه نیاز آبی خالص و ناخالص اراضی کشاورزی، نوع منابع آب (منابع سطحی شامل سد و شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، رودخانه‌های محلی، آب‌بندان‌ها، زهکش‌ها و منابع آب زیرزمینی)، نحوه استحصال از منابع آب در هر بازه و همچنین مقادیر راندمان آبیاری در هر بازه به‌عنوان ورودی استفاده‌شده است. فرآیند محاسبات به نحوی است که از یک‌سو 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 قرارگرفته و سپس مقدار آب مصرفی اختصاص یافته از منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین مقادیر آب برگشتی به منابع آب سطحی برآورد می‌گردد.

ارزیابی چندمعیاره برنامه اقدامات مکانی مدیریت عرضه و تقاضا

همان‌طور که در توضیحات گام دوم اشاره شد، در این تحقیق از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور اولویت‌بندی برنامه اقدامات مکانی مدیریت عرضه و تقاضا استفاده‌شده است. مدل پیشنهادی به‌منظور اولویت‌بندی برنامه اقدامات در نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود شامل ناحیه عمرانی مرکزی، ناحیه عمرانی شرق و ناحیه عمرانی فومنات، ترکیبی از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (Saaty, 2008) و روش تصمیم‌گیری تاپسیس در محیط تصمیم‌گیری فازی است، که از سه مرحله تشکیل‌شده است:

تعیین معیارهای مناسب جهت فرآیند تصمیم‌گیری

محاسبات مربوط به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

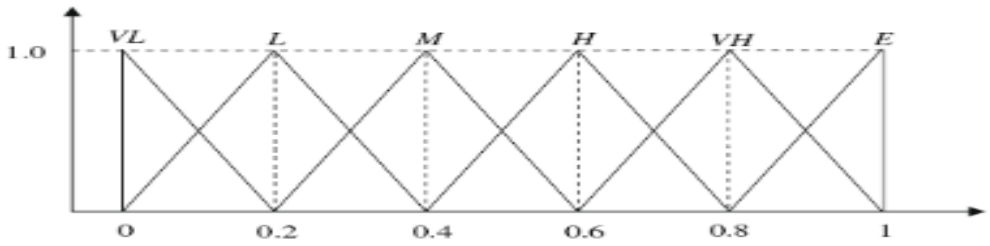
ارزیابی گزینه‌ها با استفاده از مدل تاپسیس فازی و تعیین اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها

در مرحله اول، گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری مسئله موردنظر در این تحقیق تعیین‌شده و ساختار سلسله مراتبی شکل می‌گیرد. ساختار سلسله مراتبی بر این اساس شکل می‌گیرد که در سطح اول سلسله مراتبی، هدف نهایی تحقیق، در سطح دوم، معیارهای تصمیم‌گیری و در سطح سوم، گزینه‌ها قرار می‌گیرد. بعد از نهایی شدن ساختار سلسله مراتبی، وزن معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین‌شده که به این منظور از ماتریس مقایسه زوجی برای تعیین وزن معیارها استفاده می‌شود. مقادیر ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از جدول نه‌گانه ساعتی تعیین‌شده و بر اساس میانگین مقادیر به‌دست‌آمده، وزن معیارها محاسبه می‌شوند. در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم تاپسیس

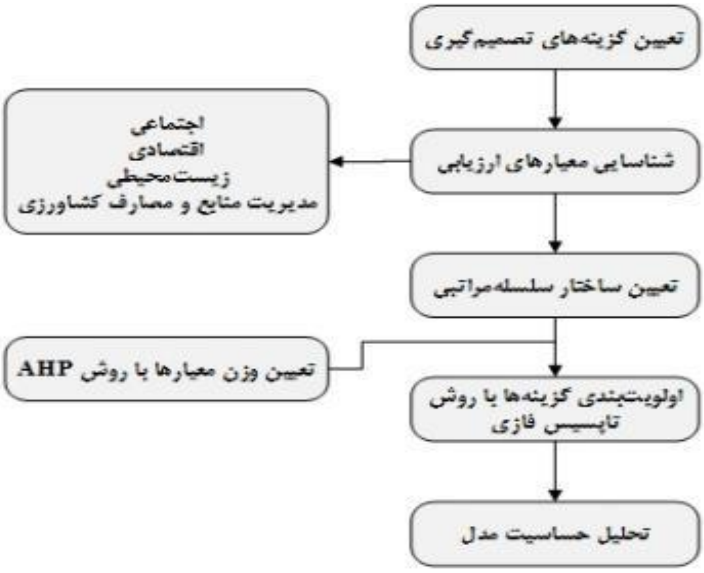
فازی و با توجه به پارامترهای مؤثر در ارزیابی برنامه اقدامات، نسبت به تحلیل این عوامل به تفکیک هر یک از نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود و درنهایت نسبت به اولویت‌بندی نواحی عمرانی اقدام خواهد گردید. در این مرحله از متغیرهای زبانی برای ارزیابی گزینه‌ها استفاده می‌شود. توابع عضویت مربوط به این عبارت‌های زبانی در شکل (۲) نشان داده‌شده است. همچنین اعداد فازی مثلثی مرتبط با عبارت‌های زبانی در جدول (۱) ارائه‌شده است. بر اساس روش‌شناسی مدل تاپسیس، گزینه‌های با بیشترین مقادیر شاخص CCj به‌عنوان بهترین گزینه‌ها بر اساس محاسبات روش تاپسیس فازی معرفی می‌شوند (شکل ۳).

جدول ۱- متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی معادل آن

متغیرهای زبانی	اعداد فازی
Very low(VL)	(۰،۰،۰،۲)
Low(L)	(۰،۰،۲،۰،۴)
Medium(M)	(۰،۲،۰،۴،۰،۶)
High(H)	(۰،۴،۰،۶،۰،۸)
Very high(VH)	(۰،۶،۰،۸،۱)
Excellent(E)	(۰،۸،۱،۱)



شکل ۲- توابع عضویت معادل متغیرهای زبانی



شکل ۳- مراحل انجام ارزیابی چندمعیاره برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا

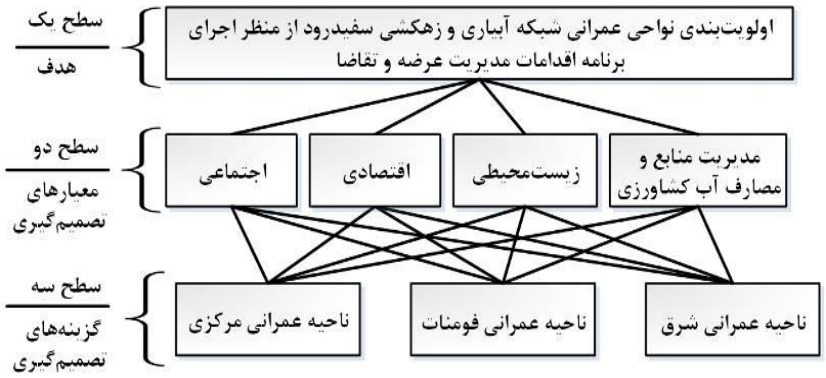
شناسایی معیارهای تأثیرگذار در فرآیند تصمیم‌گیری

یکی از مراحل مهم انجام این تحقیق شناخت معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار به‌منظور ارزیابی برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود است. در این بخش کلیه عواملی که به‌عنوان فاکتورهای تأثیرگذار در مدیریت پایدار منابع و مصارف آب کشاورزی مطرح می‌باشند، باید موردمطالعه قرار گیرند. کلیه بررسی‌های این قسمت باید به‌صورت مکانی به تفکیک واحدهای عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود (۱۷ واحد عمرانی) صورت پذیرد تا امکان اتخاذ تصمیم‌گیری‌های دقیق در خصوص مدیریت پایدار منابع و مصارف آب کشاورزی فراهم گردد. معیارها و شاخص‌های تصمیم‌گیری را می‌توان در قالب دو بخش اصلی مدیریت عرضه و مدیریت تقاضا تقسیم‌بندی نمود که شرح آن در جدول (۲) ارائه‌شده است. نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود نیز به‌عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری معرفی‌شده‌اند. لازم به ذکر است که شاخص‌های ارائه شده در جدول (۲) در قالب معیارهای

توسعه پایدار شامل اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی دسته‌بندی شده است. ساختار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری به همراه معیارها و گزینه‌های موجود در فرایند تصمیم گیری در شکل (۴) ارائه شده است.

جدول ۲- معیارها و شاخص‌های ارزیابی برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود

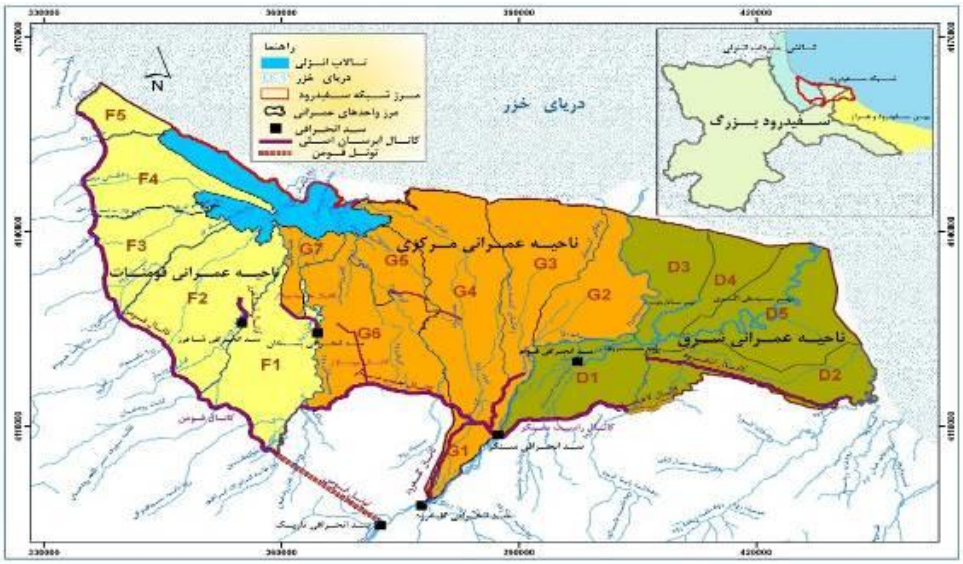
ردیف	شرح اقدام		معیار	شاخص	واحد	نحوه محاسبه	
۱	توسعه و اجرای شبکه اصلی آبیاری و زهکشی در ۷ ناحیه عمرانی باقی‌مانده	سازه‌ای (بلندمدت)		توسعه شبکه اصلی	بی‌بعد	سطح تحت پوشش شبکه‌های اصلی/ کل سطح تحت پوشش شبکه سفیدرود	A.m/A.s
۲	توسعه شبکه فرعی آبیاری و زهکشی در محدوده اراضی باقی‌مانده (مجاری درجه سه)	سازه‌ای (بلندمدت)	توسعه شبکه (مدرنیزاسیون)	توسعه شبکه فرعی	بی‌بعد	سطح تحت پوشش شبکه‌های فرعی/ کل سطح تحت پوشش شبکه سفیدرود	A.o/A.s
۳	تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی (تسطیح، یکپارچه‌سازی، آرایش و هندسی سازی قطعات، راه‌های دسترسی)	سازه‌ای (بلندمدت)		تجهیز و نوسازی اراضی	بی‌بعد	سطح اراضی تجهیز و نوسازی شده/ کل سطح زیرپوشش شبکه سفیدرود	A.od/A.s
۴	بهبود و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی در نواحی عمرانی در حال بهره‌برداری (۱۰ واحد عمرانی) باهدف امکان تحویل حجمی آب، انجام آبیاری تناوبی و پایش مصارف آبیاری	سازه‌ای (کوتاه/ میان‌مدت)	بهسازی شبکه	بهسازی واحدهای عمرانی	بی‌بعد	مساحت واحدهای عمرانی بهسازی شده/ مجموع واحدهای عمرانی دارای شبکه	N.r/N.s
۵	بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری با ایجاد زیرساخت‌ها و پیش‌نیازهای لازم (آموزشی، برنامه‌ریزی، اطلاعاتی، آماری)	غیر سازه‌ای	بهره‌برداری و نگهداری	بهره‌برداری و نگهداری شبکه	بی‌بعد	هزینه سالیانه اختصاص‌یافته برای عملیات بهره‌برداری و نگهداری از شبکه/ کل هزینه سالیانه برآورد شده برای بهره‌برداری و نگهداری از شبکه	C.o&m/T.C.o&m
۶	توسعه تشکل‌های آب‌بران	غیر سازه‌ای	مشارکت بهره‌برداران	توسعه تشکل‌های آب‌بران	بی‌بعد	تعداد شار بین تحت پوشش تشکل‌های آب‌بران/ تعداد کل شار بین تحت پوشش شبکه سفیدرود	N.b/N.T.b
۷	افزایش بهره‌وری آب	غیر سازه‌ای	بهره‌وری آب	بهره‌وری آب (تولید)	Kg/m3	متوسط مقدار محصول تولیدی در واحد سطح/ متوسط مقدار آب مصرفی در هکتار	H/V
۸				بهره‌وری آب (درآمد)	Rial/m3	متوسط درآمد محصول تولیدی در واحد سطح/ متوسط مقدار آب مصرفی در هکتار	I/V
۹	احداث سدهای لاستیکی / بندهای انحرافی بر روی رودخانه‌های دارای پتانسیل آب مازاد (به‌منظور انحراف آب مازاد سطحی به سمت کانال‌ها و مخازن ذخیره مناسب باهدف بهبود آبیاری اراضی)	سازه‌ای (کوتاه/ میان‌مدت)	ذخیره‌سازی	حجم آب تنظیمی سدها	بی‌بعد	حجم آب تنظیمی کشاورزی از آب‌های بهنگام داخل استان/ کل حجم آب مصرفی کشاورزی	V.reg/T.Vc
۱۰	اصلاح و احیای آب‌بندان‌ها به‌منظور استفاده از آب‌های مازاد نابهنگام باهدف انتقال و ذخیره‌سازی آب در آن‌ها	سازه‌ای (کوتاه/ میان‌مدت)		حجم آب تنظیمی آب‌بندانها	بی‌بعد	حجم آب تنظیمی کشاورزی از آب بندانها/ کل حجم آب مصرفی کشاورزی در محدوده شبکه سفیدرود	V.T/T.Vc
۱۱	مدیریت زیست‌محیطی	سازه‌ای و غیر سازه‌ای	کیفیت آب	کیفیت زهاب‌ها	-	میزان آلاینده‌های موجود در زهاب کشاورزی (شیمیائی ،بیولوژیکی، فلزات سنگین، سموم کشاورزی و ...)	Q.d



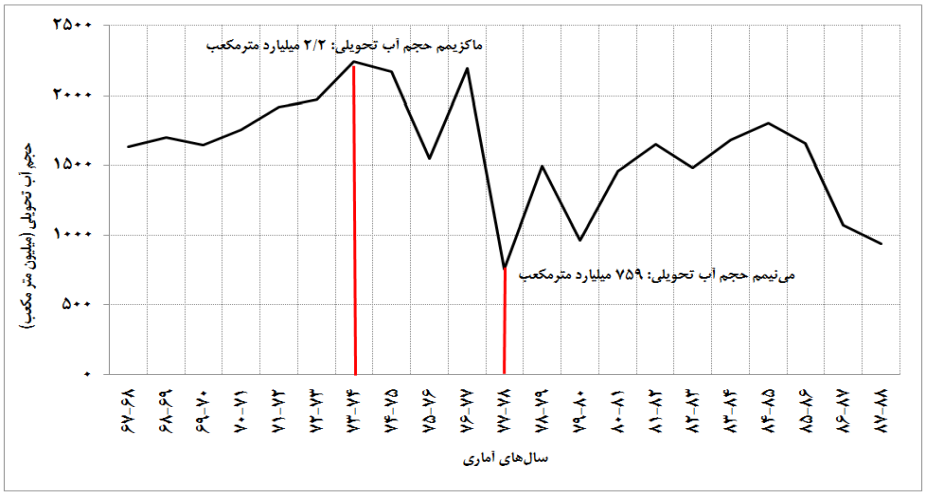
شکل ۴- ساختار سلسله مراتبی اولویت‌بندی نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود

محدوده موردمطالعه

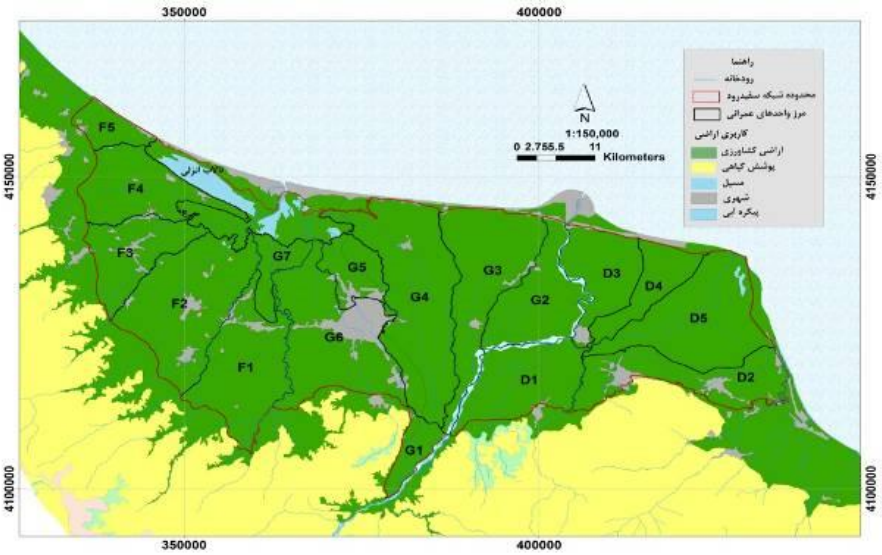
در این تحقیق شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود که به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور در پایین‌دست سد سفیدرود در محدوده استان گیلان طی سالیان گذشته در حال بهره‌برداری است به‌عنوان سامانه منابع آب موردمطالعه مدنظر قرارگرفته است (شکل ۵). رودخانه سفیدرود به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بوده که آب رهاشده 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 دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای گیلان، بیشترین مقدار حجم آب تحویلی به شبکه سفیدرود از سد سفیدرود در حدود ۲/۲ میلیارد مترمکعب در سال آماری ۷۴-۷۳ و کمترین مقدار آن در حدود ۰/۷ میلیارد مترمکعب در سال آماری ۷۸-۷۷ گزارش شده است. این در حالی است که متوسط درازمدت حجم آب ورودی به شبکه در حدود ۱/۶ میلیارد مترمکعب می‌باشد. در شکل (۶) میزان آب تحویلی به شبکه سفیدرود از سد و رودخانه سفیدرود و نحوه تغییرات آن ارائه شده است. کشت شالی به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک مهم، پهنه وسیعی از اراضی شبکه سفیدرود را پوشش می‌دهد. به‌طوری‌که در حدود ۹۴ درصد از کل اراضی کشاورزی شبکه به کشت شالی اختصاص دارد (شکل ۷). شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان با مساحت جغرافیایی حدود ۲۸۴ هزار هکتار شامل سه ناحیه (شرق، مرکزی و فومنات) در قالب ۱۷ واحد عمرانی است که در حال حاضر ۱۰ واحد عمرانی آن به‌صورت مدرن و مابقی به‌صورت سنتی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. اطلاعات مورد استفاده در محدوده مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است.



شکل ۵- موقعیت جغرافیایی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود



شکل ۶- مقادیر آب تحویلی به شبکه آبیاری سفیدرود از سد سفیدرود



شکل ۷- نقشه کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه

جدول ۳- اطلاعات مورد استفاده در تحقیق حاضر

آمار و اطلاعات مورد استفاده در تحقیق حاضر	مرجع
آمار و اطلاعات آب تحویلی به شبکه آبیاری سفیدرود	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
آمار و اطلاعات برداشت از انهار	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
آمار و اطلاعات برداشت از ایستگاه‌های پمپاژ	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
آمار و اطلاعات برداشت از آب‌بندان‌ها	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
آمار و اطلاعات برداشت از چاه‌ها	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
آمار و اطلاعات سطح زیرکشت اراضی کشاورزی	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
نقشه کاربری اراضی	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
سند چشم‌انداز تامین و توزیع آب در استان گیلان	شرکت آب منطقه‌ای گیلان
سند ملی توسعه استان گیلان	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر سعی شده است مفهوم مدیریت پایدار و یکپارچه منابع آب در قالب یک چارچوب مفهومی و تحلیلی موردبررسی قرار گیرد. در این بخش نتایج حاصل از تحقیق حاضر به شرح زیر ارائه می‌شود:

- تحلیل و ارزیابی منابع و مصارف آب کشاورزی در سامانه منابع آب موردمطالعه
- بررسی و تحلیل عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و

عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) مرتبط با مدیریت آب کشاورزی در سامانه منابع آب موردمطالعه

- تبیین برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی

- ارزیابی چندمعیاره برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی

تحلیل و ارزیابی منابع و مصارف آب کشاورزی در سامانه منابع آب موردمطالعه

در این بخش ضمن ارائه نتایج مطالعات مصارف آب کشاورزی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، به تحلیل و ارزیابی این مصارف پرداخته شده است. در جداول (۴) و (۵) به ترتیب نتایج مصارف آب کشاورزی به تفکیک نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در شرایط نرمال و کم‌آبی ارائه‌شده است. در شرایط نرمال از کل حجم آب مصرفی سالانه اراضی کشاورزی، در حدود ۹۵٪ از منابع آب سطحی و در حدود ۵٪ از منابع آب زیرزمینی مصرف می‌گردد. همچنین از کل حجم آب مصرفی سالانه از منابع آب سطحی در حدود ۸۲٪ از سد و شبکه سفیدرود، ۱۵٪ از رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها و در حدود ۳٪ از آب‌بندان‌ها مصرف می‌گردد.

جدول ۴- خلاصه نتایج مصارف آب کشاورزی به تفکیک نواحی عمرانی محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود- شرایط نرمال

	حجم آب مصرفی (میلیون متر مکعب)							
نواحی عمرانی	سطح اراضی آبی (هکتار)	شبکه سفیدرود	رودخانه‌های محلی (انهار، ایستگاه‌های پمپاژ)، زهکش‌ها	آب‌بندان	جمع سطحی	جمع زیرزمینی	جمع کل	حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)
شرق	۵۹۷۹۷	۴۲۶	۶۵	۲۴	۵۱۵	۶	۵۲۱	۸۷۲۰
فومنات	۵۱۸۱۵	۲۹۳	۱۲۱	۱۱	۴۲۵	۵۳	۴۷۸	۹۲۱۷
مرکزی	۷۹۵۲۹	۶۸۱	۷۴	۱۲	۷۶۸	۳۱	۷۹۸	۱۰۰۳۹
مجموع شبکه آبیاری و زهکشی	۱۹۱۱۴۱	۱۴۰۰	۲۶۰	۴۷	۱۷۰۷	۹۰	۱۷۹۷	۹۴۰۴

جدول ۵- خلاصه نتایج مصارف آب کشاورزی به تفکیک نواحی عمرانی محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود- شرایط کم‌آبی

	حجم آب مصرفی (میلیون متر مکعب)							
نواحی عمرانی	سطح اراضی آبی (هکتار)	شبکه سفیدرود	رودخانه‌های محلی (انهار، ایستگاه‌های پمپاژ)، زهکش‌ها	آب‌بندان	جمع سطحی	جمع زیرزمینی	جمع کل	حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)
شرق	۵۳۰۹۱	۲۷۴	۱۱۸	۳۰	۴۲۲	۷	۴۲۹	۸۰۸۱
فومنات	۴۶۰۶۹	۱۹۱	۱۲۰	۱۲	۳۲۳	۶۳	۳۸۶	۸۳۷۷
مرکزی	۷۰۴۱۲	۴۷۴	۱۵۲	۱۶	۶۴۲	۳۷	۶۷۹	۹۶۳۷
مجموع شبکه آبیاری و زهکشی	۱۶۹۵۷۲	۹۳۹	۳۹۰	۵۸	۱۳۸۶	۱۰۷	۱۴۹۴	۸۸۰۸

به‌همین ترتیب در شرایط کم‌آبی از کل حجم آب مصرفی سالانه اراضی کشاورزی، در حدود ۹۳٪ از منابع آب سطحی و در حدود ۷٪ از منابع آب زیرزمینی مصرف می‌گردد. همچنین از کل حجم آب مصرفی سالانه از منابع آب سطحی در حدود ۶۸٪ از سد و شبکه سفیدرود، ۲۸٪ از رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها و در حدود ۴٪ از آب‌بندان‌ها مصرف می‌گردد. در شکل (۸) مقادیر حجم آب مصرفی در شرایط نرمال و کم‌آبی به تفکیک منابع آب سطحی (شبکه سفیدرود، رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها، آب‌بندان‌ها) و منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها و چشمه‌ها) مورد مقایسه قرارگرفته است. همچنین در شکل (۹) توزیع مکانی حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به تفکیک واحدهای عمرانی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در شرایط نرمال و کم‌آبی ارائه‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با توجه به اینکه در شرایط کم‌آبی میزان آب تحویلی به شبکه سفیدرود از سد سفیدرود در مقایسه با شرایط نرمال به میزان قابل‌توجهی کاهش داشته است، میزان مصرف از سایر منابع نظیر منابع آب زیرزمینی و رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها افزایش پیداکرده است. به‌نحوی‌که میزان برداشت از رودخانه‌های محلی و زهکش‌ها در شرایط کم‌آبی نسبت به شرایط نرمال در حدود ۵۰٪ افزایش داشته است که این میزان افزایش عمدتاً مربوط به برداشت از زهکش‌های محدوده موردمطالعه است. به‌عبارت‌دیگر استفاده از آب زهکش‌ها به‌عنوان یک منبع کمکی به‌خصوص در مواقع خشک‌سالی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود رواج دارد. ذکر این نکته ضروری است که استفاده هر چه بیشتر از آب زهکش‌های محدوده موردمطالعه به دلیل آلوده بودن آن‌ها به آلاینده‌هایی نظیر نیترات و سایر فلزات سنگین ناشی از مصرف

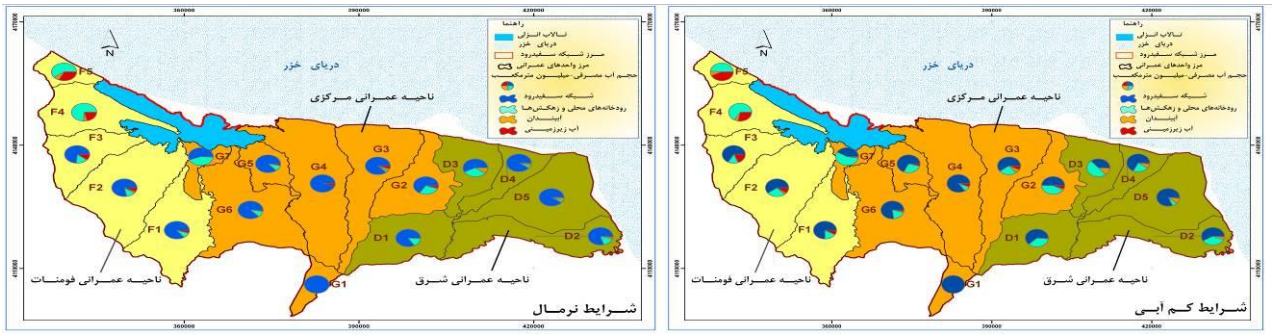
بی‌رویه کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و همچنین ورود پساب‌های خانگی و صنعتی به داخل زهکش‌ها، بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی مشکل‌آفرین خواهد بود. همچنین تغییرات میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی در شرایط کم‌آبی نسبت به شرایط نرمال به‌اندازه ۲۰٪ (اضافه برداشت) است که این مسئله با توجه به عمق و ظرفیت آبکشی چاه‌ها، مشخصات هیدروژئولوژیکی آبخوان در محدوده موردمطالعه در شرایط کم‌آبی صورت گرفته است.

بررسی و تحلیل عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) مرتبط با مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی در سامانه منابع آب موردمطالعه

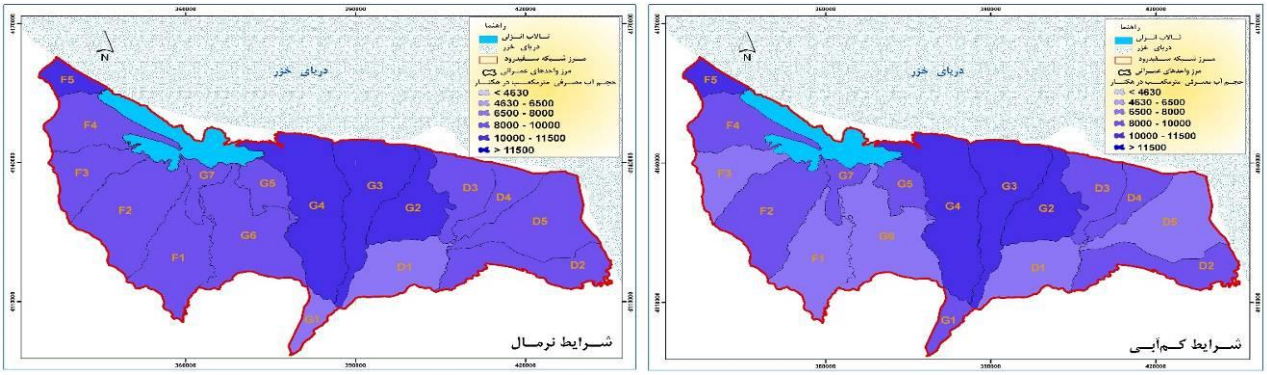
در جدول (۶) فهرست عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) مرتبط با مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در قالب روش تحلیلی SWOT ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که تحلیل SWOT در فرآیند تشکیل استراتژی جزء بسیار مهم محسوب می‌شود که مخفف کلمات (S=Strengths) نقاط قوت، (W=Weaknesses)نقاط ضعف، (O=Opportunities) فرصت‌ها و (T=Threats) تهدیدات است. همان‌طوری که مشهود است SWOTاز چهار عاملی که هر یک ویژگی‌ها و هدف خاص خود رادارند تشکیل‌شده است و عموماً به دودسته عوامل خارجی و داخلی طبقه‌بندی می‌شوند. فرصت‌ها و تهدیدات مربوط به عوامل خارجی بوده و نقاط قوت و نقاط ضعف مربوط به عوامل داخلی هستند.

تبیین برنامه اقدامات پیشنهادی مدیریت عرضه و تقاضای آب در سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود

با توجه به نتایجی که تاکنون در رابطه با تحلیل منابع و مصارف آب کشاورزی و همچنین مسائل و مشکلات شناسایی‌شده در قالب عوامل داخلی و خارجی مرتبط با مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی در سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود ارائه گردید، مجموعه‌ای از برنامه اقدامات برای بهبود مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی که در راستای اسناد و برنامه‌های بالادستی مدیریت آب استان گیلان است، در ادامه موردبحث و بررسی قرارگرفته است. در این بخش ضمن معرفی کامل مهم‌ترین برنامه اقدامات پیشنهادی، میزان اثربخشی و اولویت‌بندی آن‌ها در نواحی مدیریتی موردبحث قرار می‌گیرد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت سیاست‌های اجرایی موردنظر در ارائه این راهکارها، با تأکید بر مدیریت توأمان عرضه و تقاضا مدنظر قرارگرفته است.



شکل ۸- مقایسه مقادیر حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به تفکیک واحدهای عمرانی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود- شرایط نرمال و کم‌آبی



شکل ۹- توزیع مکانی حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به تفکیک واحدهای عمرانی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود- شرایط نرمال و کم‌آبی

جدول ۶- تحلیل عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) مرتبط با مدیریت پایدار منابع و مصارف آب کشاورزی در سامانه منابع آب موردمطالعه

نقاط قوت	وجود بزرگترین شبکه آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری کشور (شبکه آبیاری سفیدرود) / کشت شالی به عنوانی محصولی استراتژیک با توجه به نقش مهم آن در امنیت غذائی
	وضعیت مطلوب زیر ساختها و سهولت ایجاد ارتباط میان جوامع شهری و روستایی / توسعه بخش خدمات هم در مناطق شهری و هم در مناطق روستایی
	سطح بالای سواد و امید به زندگی
	بالاتر بودن ارزش اقتصادی آب در مصارف صنعتی از تعرفه‌های آب صنعتی
	وجود بزرگترین شرکت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه آبیاری و زهکشی در کشور با اندوخته عملی ارزشمند در طی بیش از ۴۰ سال تجربه
	قابلیت تقویت نظام بهره‌برداری موجود با کمترین هزینه ممکن با توجه به سابقه دیرینه بهره‌برداری از شبکه آبیاری
	وجود ساختار مدیریتی شرکت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی سفیدرود و زیر ساختهای مناسب آن
	استقرار مؤسسه تحقیقات برنج کشور در محدوده مورد مطالعه و پتانسیل بالای این موسسه جهت انجام تحقیقات کاربردی با هدف افزایش بهره‌وری آب در اراضی شالیزاری
	احداث بیش از ۷۰۰ ایستگاه پمپاژ در سالهای اخیر بر روی رودخانه‌های محلی و زهکشها (عمدتا در داخل شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود)
	امکان استفاده از روش آبیاری تناوبی در اراضی شالیزاری با توجه به اجرای برنامه آبیاری نوبتی در سالهای اخیر بخصوص در دوره پیک مصرف و سالهای کم آبی
	امکان تامین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی به صورت تلفیقی از منابع آب
	امکان بازسازی و بهسازی آبندانها و استفاده دو / چند منظوره از آنها (کشاورزی، آبزی پروری و زیست محیطی و ...)
	شرایط اقلیمی مرطوب و نیمه مرطوب و بالا بودن نزولات جوی در محدوده مورد مطالعه
نقاط ضعف	عدم اجرای طرح‌های توسعه شبکه آبیاری و زهکشی در ۷ واحد عمرانی از ۱۷ واحد عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
	بهره برداری و نگهداری نامناسب ابنیه فنی و تاسیسات شبکه، بروز مشکلات حین اجرا و بهره‌برداری بدلیل عدم تطابق طرح توسعه شبکه آبیاری با شبکه آبیاری سنتی موجود
	عدم وجود زیرساختهای لازم جهت تحویل حجمی آب در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
	عدم هماهنگی‌های مناسب در (۱) توسعه شبکه فرعی آبیاری و (۲) تجهیز و نوسازی اراضی با توسعه و بهسازی شبکه اصلی آبیاری سفیدرود
	تحویل مستقیم آب به بیش از ۳۰۰ هزار بهره‌بردار در محدوده شبکه آبیاری توسط شرکت بهره‌برداری و نگهداری سفیدرود بدون مشارکت بهره‌برداران و تشکلهای آبیران
	ضعف و ناکارآمدی نظام بهره‌برداری کشاورزی متاثر از نظام قطعه‌بندی و کوچکی ابعاد مالکیت و پایین بودن سطح مکانیزاسیون / فقدان الزامات ایجاد تعاونی‌ها و تشکلهای آبیران
	عدم وجود سامانه پایش مصارف آب کشاورزی در محدوده شبکه آبیاری سفیدرود به منظور تعیین حجم آب برداشتی از منابع آبی مختلف
	یکسان بودن نرخ آب بهاء برای کلیه اراضی داخل شبکه آبیاری با توجه به استفاده تلفیقی از منابع آب مختلف به منظور تامین حداقل آب مورد نیاز بخصوص در سالهای کم آبی
	طراحی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بر اساس روش آبیاری دائمی نه متناوب
	عدم توجه کافی به لایروبی و نگهداری مناسب از آبندانها با توجه به پتانسیل بالقوه در توسعه آنها به عنوان مخازن ذخیره آب
	خروج بخشی آب از حوضه به داخل دریای خزر بدون تنظیم و استفاده مناسب
	تغییر بی‌برنامه کاربری اراضی ساحلی و کشاورزی به دلیل گسترش ساخت و سازهای شهری و ویلائی
	مشکلات مربوط به انتقال مدیریت شبکه بزرگ و نیمه‌تمام سفیدرود به بهره‌برداران / احساس بی‌نیازی نسبت به سازمان‌یابی بهره‌برداران در قالب تشکل‌های آب‌بران با توجه به مشکلات شبکه
	وابستگی در زمینه تامین انرژی‌های اولیه / سهم بالای هزینه‌های پرسنلی و نیروی‌کار در هزینه های جاری و سهم کم هزینه تعمیرات و نگهداری
	کاهش سطح جنگل: جنگل‌زدایی در اثر تغییرات کاربری اراضی (تبدیل به اراضی کشاورزی)
	کیفیت نامناسب رودخانه‌ها: آلودگی رودخانه‌های محدوده مورد مطالعه به ویژه رودخانه‌های سفیدرود، گوهررود، پیربازار ناشی از تخلیه پسابهای شهری، روستایی و صنایع، زهاب-های کشاورزی
	عدم وجود سیستم پایش کیفی منابع آب در سطح محدوده مورد مطالعه
فرصت‌ها	پتانسیل منابع و خاک، شرایط آب و هوایی و توپوگرافی نسبتاً مناسب برای کشت محصولات شالی (به عنوان محصول استراتژیک) و باغات
	پتانسیل بالای منابع آب داخلی اعم از رودخانه‌های محلی، آبندانها و منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها و چشمه‌ها) و امکان تامین آب اراضی از جریان بهنگام این منابع
	وجود سرمایه انسانی و اجتماعی بالا به عنوان پشتوانه‌ای برای توسعه
	حضور پررنگ زنان در عرصه‌های اقتصادی و اجتماعی بویژه نقش پراهمیت ایشان در فعالیت‌های کشاورزی
	یکپارچگی و مقیاس بزرگ طرح‌های توسعه منابع آب در محدوده مورد مطالعه در مقایسه با کشور
	واقع شدن شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در ۳ حوضه آبریز و امکان تامین آب مناطق دارای کمبود از نواحی دارای آب مازاد در محدوده مورد مطالعه
	امکان توسعه استفاده از آبهای برگشتی (زه‌آب‌ها) در تامین بخشی از آب مورد نیاز اراضی کشاورزی به خصوص در دوره‌های پیک مصرف و دوره‌های کم آبی
	امکان توسعه باغات (چای، مرکبات، زیتون، فندق، کیوی و ...) در اراضی بالادست رودخانه‌های داخلی محدوده مورد مطالعه
	امکان توسعه پرورش ماهیان سردابی بخصوص در منطقه غرب محدوده مورد مطالعه و توسعه پرورش ماهیان گرمابی در مناطق مرکزی و فومنات
تهدیدها	کاهش میزان آب ورودی به مخزن سد سفیدرود و کاهش میزان تخصیص آب تنظیمی از سد به اراضی کشاورزی با توجه به مطالعه و اجرای طرحهای توسعه بالادست
	افزایش تقاضای کشاورزان به منظور تغییر کاربری اراضی و تبدیل اراضی شالیزاری به استخرهای پرورش آبزیان به دلیل بازدهی اقتصادی بالاتر و به تبع آن افزایش تقاضای آب
	افزایش رقابت بین مصرف‌کنندگان بخش کشاورزی و سایر بخش‌ها نظیر آبزی پروری، صنعت و ...
	برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بستر رودخانه‌های محلی و افزایش عمق بستر رودخانه‌ها و نیاز به احداث سردهنه‌های جدید
	تخلیه فاضلابهای شهری و صنعتی به رودخانه‌ها و زهکشها بخصوص در ناحیه مرکزی با توجه به استفاده مجدد از این منابع برای مصارف کشاورزی و بروز مشکلات زیست‌محیطی
	کاهش نقش فعالیت‌های کشاورزی در درآمد خانوارهای روستایی / متنوع شدن ساختار اقتصاد روستایی و کاهش سهم درآمد کشاورزی از کل درآمد خانوارهای روستایی
	مشکل وصول درآمدهای بالقوه و آب بدون درآمد در شرکت های متولی آب
	عدم وجود نظام مالی، اطلاعات و سیستم حسابداری مناسب در شرکت‌های متولی آب در محدوده مورد مطالعه
	قرار گرفتن در موقعیت پایین‌دستی در حوضه آبریز سفیدرود و آسیب‌پذیری بالای اجتماعی و اقتصادی ناشی از تحولات بهره‌برداری در بالادست

در جدول (۷) برنامه اقدامات پیشنهادی در جهت بهبود مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی در اراضی آبی سامانه منابع آب موردمطالعه ارائه‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد اقدامات پیشنهادی بر اساس سیاست‌های اجرایی شامل مدیریت عرضه و تقاضای آب در جهت افزایش بهره‌وری آب، در قالب موارد زیر ارائه‌شده است.

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.

استحصال از منابع آب داخلی سامانه منابع آب موردمطالعه.

در شکل‌های (۱۰) الی (۱۳) پهنه‌بندی برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود ارائه‌شده است.

جدول ۷- برنامه اقدامات پیشنهادی بهبود مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی در سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود

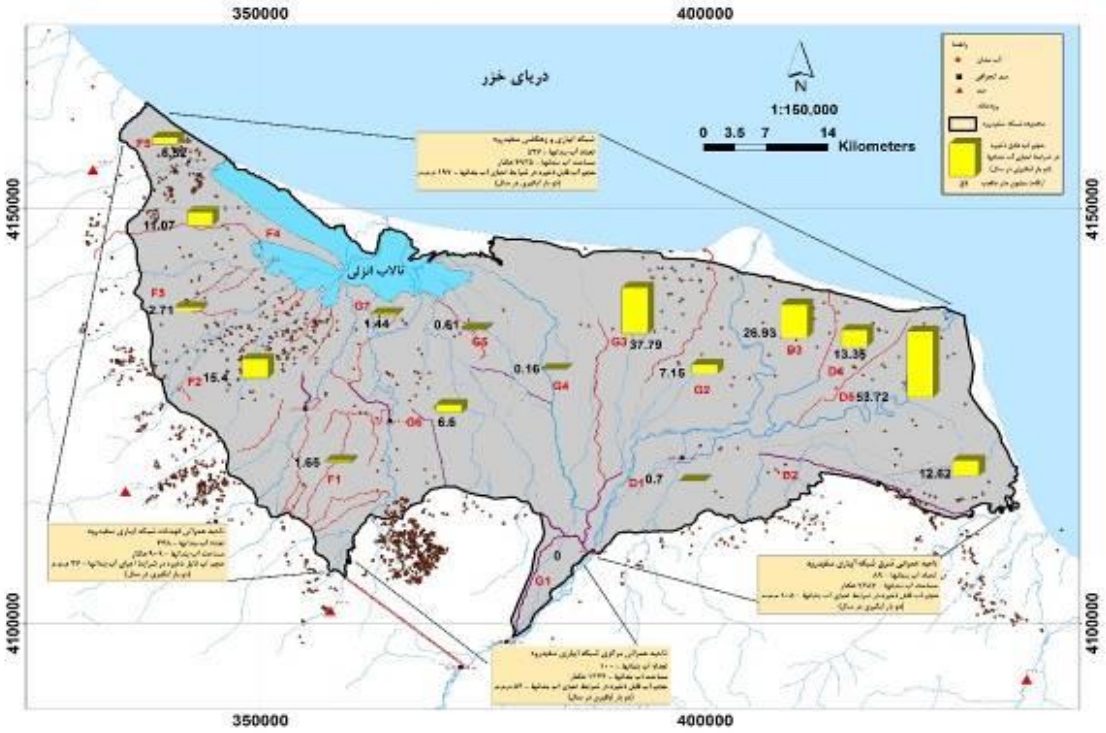
سیاست اجرایی		نوع اقدام		شرح اقدام
مدیریت تقاضا	۱	توسعه و بهسازی ساختار شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود	۱-۱	توسعه و اجرای شبکه اصلی آبیاری و زهکشی در ۷ ناحیه عمرانی باقی‌مانده
			۱-۲	بهبود و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی در نواحی عمرانی در حال بهره‌برداری (۱۰ واحد عمرانی)
			۱-۳	توسعه شبکه فرعی آبیاری و زهکشی در محدوده اراضی باقی‌مانده (مجاری درجه سه)
			۱-۴	تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری در محدوده اراضی باقی‌مانده از شبکه آبیاری سفیدرود (به همراه مجاری درجه چهار)
			۱-۵	توسعه مکانیزاسیون اراضی شالیزاری
	۲	بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود	۲-۱	اصلاح مدیریت بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود با مشارکت مردمی
			۲-۲	توسعه تشکل‌های آب‌بران در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
			۲-۳	نظارت بر بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود توسط مهندسین مشاور و ارائه گزارش سالانه
			۲-۴	استقرار سامانه مدیریت آبیاری در محدوده شبکه آبیاری سفیدرود
	۳	زیست‌محیطی	-	مدیریت زیست‌محیطی
مدیریت عرضه	۴	استحصال از منابع آب داخلی استان	۴-۱	توسعه و احیاء آب‌بندان‌های محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
			۴-۲	احداث بندهای انحرافی و سدهای لاستیکی در پایاب رودخانه‌های دارای آب مازاد و زهکش‌ها

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. در جدول (۸) پتانسیل آب قابل ذخیره آب‌بندان‌های محدوده مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی به تفکیک نواحی عمرانی شبکه آبیاری سفیدرود ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد 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. لازم به ذکر است که که با توجه به موقعیت مکانی کلیه آب‌بندان‌های محدوده مورد مطالعه که در شکل (۱۰) ارائه شده است و همچنین با در نظر گرفتن اینکه عمق متوسط آب‌بندانها در شرایط فعلی حدود ۱/۶ متر می‌باشد، در شرایط آتی با انجام برنامه اقدامات مرتبط با بازسازی و بهسازی این آب‌بندان‌ها جهت افزایش ارتفاع آنها، حجم آب قابل ذخیره در آنها معادل ۱۹۷ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌گردد. توزیع مکانی آب‌بندانها، مساحت و حجم آب قابل ذخیره در شرایط احیا و بهسازی به تفکیک نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در شکل (۱۰) ارائه شده است.

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 فومنات 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 به‌عنوان مکمل شبکه اصلی، منجر به افزایش راندمان‌های انتقال، توزیع و کاربرد در اراضی تحت پوشش این نواحی خواهد شد.

جدول ۸- پتانسیل آب قابل ذخیره در آب‌بندانهای محدوده مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی

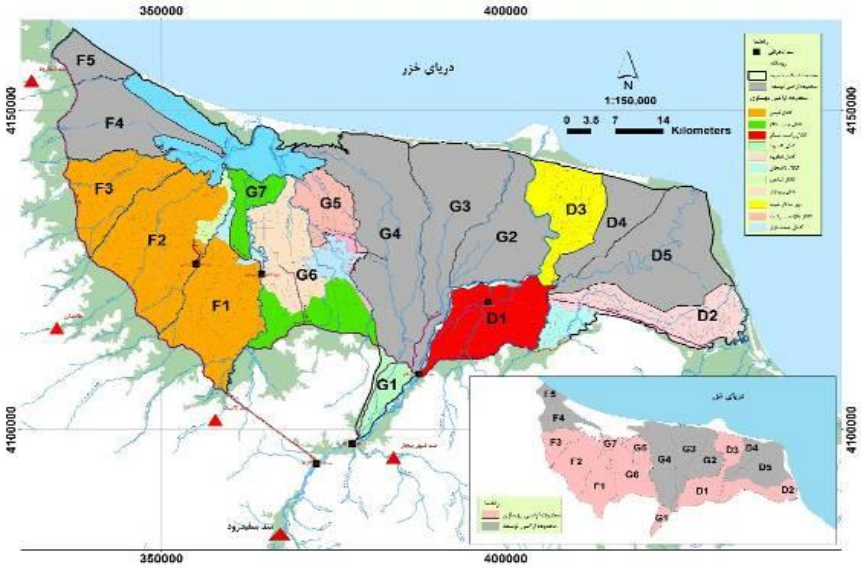
ردیف	نواحی عمرانی شبکه آبیاری سفیدرود	تعداد	سطح (هکتار)	حجم قابل ذخیره در شراط احیا و بهسازی (م.م.م)
۱	ناحیه شرق شبکه سفیدرود	۸۹	۲۶۸۳	۵۴
۲	ناحیه فومنات شبکه سفیدرود	۳۳۸	۹۰۹	۱۰۸
۳	ناحیه مرکزی شبکه سفیدرود	۱۰۰	۱۳۴۴	۳۵
	مجموع شبکه آبیاری سفیدرود	۵۲۷	۴۹۳۵	۱۹۷



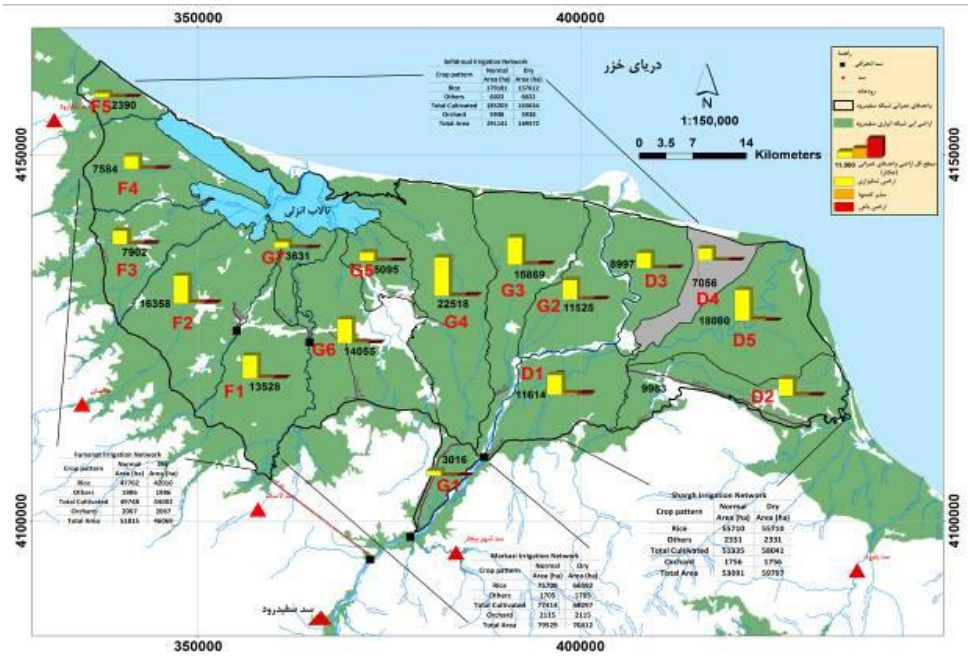
شکل ۱۰ – توزیع مکانی آب‌بندان‌های محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در شرایط احیا و بهسازی

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 آبگیری، 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. در شکل (۱۱) محدوده اراضی بهسازی و یا توسعه به تفکیک واحدهای عمرانی شبکه آبیاری سفیدرود نشان داده شده است. از جمله موارد دیگری که در بهبود وضعیت مدیریت تقاضا و کاهش مصرف موثر است تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی می‌باشد. امروزه اهمیت تجهیز و نوسازی اراضی زراعی بر کسی پوشیده نیست. به نحوی که بررسی‌ها و تحقیقات صورت گرفته در سطح استان (موسسه تحقیقات برنج کشور) نیز بیانگر رضایت‌مندی زارعین و افزایش تولید در اراضی است که طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی در آنها اجرا شده است. برخی از فواید اجرای طرح تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی عبارتست از: کاهش هزینه‌های تولید، کاهش صعوبت کشت و کار در مزارع، مدیریت صحیح توزیع و کاربرد آب، کاهش ضایعات محصول حین انتقال، امکان توسعه کشت دوم، افزایش درآمد و اشتغال و در نهایت افزایش انگیزه در زارعین و جلوگیری از تغییر کاربری اراضی. در حال حاضر در بخش‌هائی از اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی اجرا شده است اما به دلیل کمبود ماشین‌آلات مناسب، امکانات موجود و بعضاً مشکلات موجود در طراحی و اجرا، اجزای طرح از قبیل جاده‌های بین مزارع و کانالها و زهکش‌های داخل مزارع، کارکرد پیش‌بینی شده خود را ندارند. در شکل (۱۲) پراکنش محدوده اراضی شبکه آبیاری سفیدرود در شرایط تجهیز و نوسازی براساس الگوی کشت به تفکیک واحدهای عمرانی شبکه آبیاری سفیدرود مورد مقایسه قرار گرفته است.

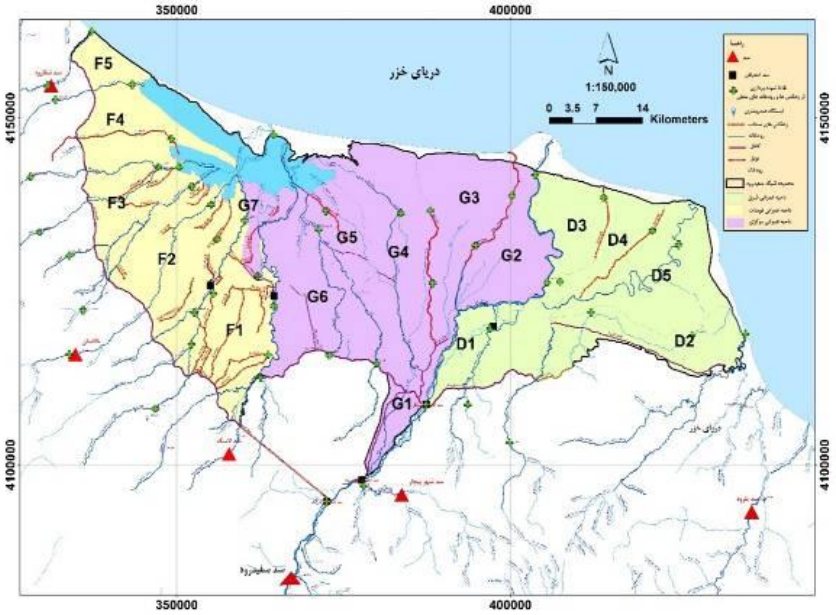
با توجه به میزان بارآلودگی بر اساس شاخص‌های کیفیت آب، در شکل (۱۳) موقعیت پیشنهادی نقاط نمونه برداری در رودخانه‌ها و زهکش‌های منتخب محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. لازم به توضیح است که میزان پارامتر EC، در اکثر ایستگاه‌ها بالا بوده و به این لحاظ رودخانه‌ها و زهکش‌های محدود مورد مطالعه وضعیت نامناسبی در مقایسه با استاندارد کشاورزی دارند. مقدار پارامتر BOD در کلیه نقاط بیشتر از میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده که در مقایسه با استانداردهای کشاورزی بسیار بالا می‌باشد و می‌تواند نشان دهنده ورود فاضلابهای تصفیه نشده شهری و روستایی به رودخانه‌ها و زهکش‌ها باشد.



شکل ۱۱- پهنه‌بندی محدوده اراضی توسعه و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود



شکل ۱۲- محدوده اراضی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در شرایط تجهیز و نوسازی



شکل ۱۳-موقعیت نقاط نمونه‌برداری از رودخانه‌های محلی و زهکش‌های منتخب

ارزیابی چندمعیاره برنامه اقدامات مکانی مدیریت عرضه و تقاضا

در این بخش از تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا، از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی استفاده‌شده است. در ادامه نتایج مربوط به این بخش ارائه شده است.

محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری

بعد از تعیین ساختار سلسله مراتبی تحقیق، وزن معیارها با استفاده از روش AHP محاسبه می‌شود. به این منظور مقادیر ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از جدول نه‌گانه ساعتی تعیین می‌شود. نتایج مربوط به محاسبات ماتریس مقایسه زوجی در جدول (۹) ارائه‌شده است. مقدار نرخ ناسازگاری نیز برای ماتریس مقایسه زوجی، به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده سازگاری نتایج است.

ارزیابی و تعیین رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

در این مرحله از فرآیند تصمیم‌گیری میزان ارجحیت گزینه‌ها به ازای تک‌تک معیارها تعیین می‌شود. ماتریس فازی مربوط به مقایسه زوجی گزینه‌ها به ازای معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس متغیرهای زبانی، در جدول (۱۰) ارائه‌شده است. بعد از تعیین ماتریس تصمیم‌گیری فازی، گام بعدی تهیه ماتریس تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده است. بر اساس وزن معیارها که از روش AHP تعیین شدند، نتایج ماتریس تصمیم‌گیری فازی بعد از اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده از روش AHP در جدول (۱۱) نشان داده‌شده است.

جدول ۹- نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

معیار	وزن (w)	λmax,CI,RI	CR
C1	۰/۲۵	$\lambda_{max} = 7.871$	
C2	۰/۱۹	CI=0.145	
C3	۰/۲۱	RI=1.32	۰/۱
C4	۰/۳۵		

C1: اجتماعی C2: اقتصادی C3: زیست‌محیطی C4: مدیریت منابع و مصارف

جدول ۱۰- ماتریس تصمیم‌گیری فازی با عبارت‌های زبانی و اعداد فازی مثلثی معادل آن

	C1	C2	C3	C4
A1	High (۰/۴ ، ۰/۶ ، ۰/۸)	Medium (۰/۲ ، ۰/۴ ، ۰/۶)	Excellent (۰/۸ ، ۱ ، ۱)	Medium (۰/۲ ، ۰/۴ ، ۰/۶)
A2	Medium (۰/۲ ، ۰/۴ ، ۰/۶)	High (۰/۴ ، ۰/۶ ، ۰/۸)	Medium (۰/۲ ، ۰/۴ ، ۰/۶)	Very high (۰/۶ ، ۰/۸ ، ۱)
A3	Excellent (۰/۸ ، ۱ ، ۱)	Very high (۰/۶ ، ۰/۸ ، ۱)	High (۰/۴ ، ۰/۶ ، ۰/۸)	Low (۰ ، ۰/۲ ، ۰/۴)
وزن معیارها از روش AHP	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۳۵

A1: ناحیه عمرانی مرکزی، A2: ناحیه عمرانی شرق، A3: ناحیه عمرانی فومنات

بر اساس جدول (۱۱) مشاهده می‌شود که عناصر $\tilde{V}_{ij}$ به

ازای تمام مقادیر i و j، اعداد فازی مثلثی مثبت نرمال شده می‌باشند و مقادیر آن‌ها در بازه بسته $[0,1]$ قرار می‌گیرد. با توجه به موارد اشاره‌شده برای معیار سود، راه‌حل ایده‌ال مثبت فازی[1] *(FPIS,A*)* به‌صورت $\tilde{v}_i^* = (1,1,1)$ و راه‌حل ایده‌ال منفی فازی[2] *(FNIS, A⁻)* به‌صورت $\tilde{V}_i^- = (0,0,0)$ تعریف می‌گردد. همچنین برای معیار هزینه نیز، مقادیر *FPIS* و *FNIS* به‌صورت $\tilde{v}_i^* = (0,0,0)$ و $\tilde{V}_i^- = (1,1,1)$ تعریف می‌شود.

در این تحقیق با توجه به هدف مسئله تصمیم‌گیری یعنی اولویت‌بندی نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود از منظر اولویت اجرای برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا، تمامی معیارها به‌عنوان معیار سود در نظر گرفته شد. در گام بعدی فاصله هر یک از گزینه‌ها از ایده‌ال‌های مثبت و منفی یعنی مقادیر D^* و D^- محاسبه‌شده و سپس مقادیر معیار CCj محاسبه می‌شود. نتایج مربوط به محاسبات معیار CCj برای گزینه‌های تصمیم‌گیری در جدول (۱۲) ارائه‌شده است. نتایج مدل نشان می‌دهد که ناحیه عمرانی فومنات با معیار CCj معادل ۰/۱۵۱ به‌عنوان اولویت اول ازنظر اجرای برنامه اقدامات مکانی انتخاب‌شده است. همچنین رتبه‌بندی سایر گزینه‌ها نیز بر اساس مقادیر CCj در شکل (۱۴) نشان داده‌شده است. لازم به ذکر است که در جدول فوق، بر اساس روش تاپسیس فازی امتیازدهی هر یک از نواحی عمرانی واقع در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود ازنظر اجرای برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا انجام‌شده است.

تحلیل حساسیت مدل

نتیجه پایانی روند مبتنی بر تحلیل‌های چندمعیاره مشتمل بر پیشنهادی از یک گزینه یا مجموعه‌ای از گزینه‌ها برای اجراست. در این راستا ورودی‌های عددی حساسی که ممکن است تأثیر اصلی بر روی تصمیم نهایی (رتبه‌بندی گزینه‌ها) داشته باشند باید شناخته شوند. هدف از تحلیل حساسیت تعیین چگونگی تأثیرپذیری گزینه‌های پیشنهادی (خروجی) از تغییرات در ورودی‌ها (مقادیر وزن معیارها) است. این تحلیل موجب می‌شود که نسبت به استحکام راه‌حل پیشنهادی اطمینان حاصل شود. به‌منظور انجام تحلیل حساسیت از جابجایی وزن معیارهای تصمیم‌گیری استفاده‌شده است که با توجه به تعداد معیارهای تصمیم‌گیری (چهار معیار) ۶ ترکیب از وزن معیارها به دست آمد. لازم به ذکر است که هرکدام از این ترکیبات به‌عنوان یک سناریوی وزن دهی در نظر گرفته شدند. نتایج تحلیل حساسیت مدل در جدول (۱۳) و شکل (۱۵) ارائه‌شده است. البته لازم به ذکر است که مقادیر نهایی وزن معیارها که از تحلیل‌های چندمعیاره تعیین‌شده است در حالت اصلی، در جدول (۱۳) و شکل (۱۵) لحاظ شده است. بر اساس سناریوهای مختلف وزن دهی معیارها، مقادیر CCj محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۱۳) ارائه‌شده است.

جدول ۱۱- ماتریس تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده

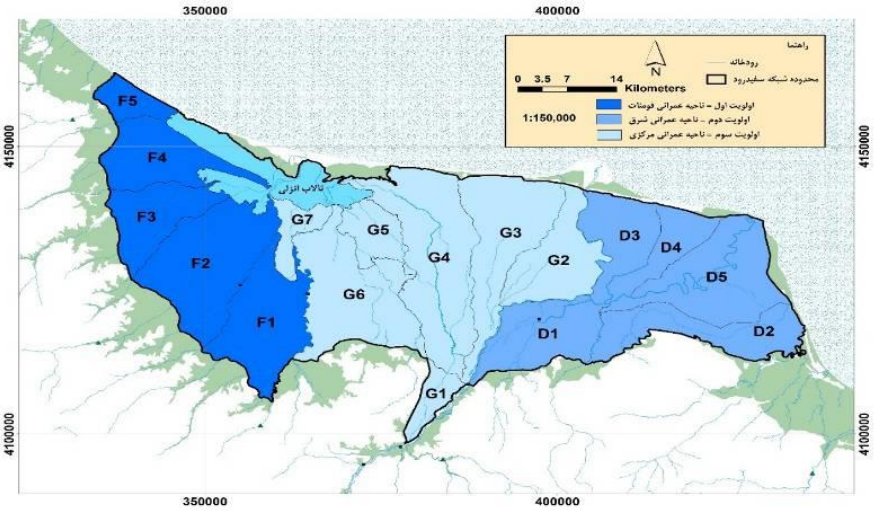
	C1	C2	C3	C4
A1	(۰/۱۰۰ ،۰/۱۵۰ ،۰/۱۰۰)	(۰/۰۳۸ ،۰/۰۷۶ ،۰/۱۱۴)	(۰/۲۸۰ ،۰/۳۵۰ ،۰/۳۵۰)	(۰/۰۴۲ ،۰/۰۸۴ ،۰/۱۲۶)
A2	(۰/۰۵۰ ،۰/۱۰۰ ،۰/۱۵۰)	(۰/۰۷۶ ،۰/۱۱۴ ،۰/۱۵۲)	(۰/۰۷۰ ،۰/۱۴۰ ،۰/۲۱۰)	(۰/۱۲۶ ،۰/۱۶۸ ،۰/۲۱۰)
A3	(۰/۲۰۰ ،۰/۲۵۰ ،۰/۲۵۰)	(۰/۱۱۴ ،۰/۱۵۲ ،۰/۱۹۰)	(۰/۱۴۰ ،۰/۲۱۰ ،۰/۲۸۰)	(۰/۰۰۰ ،۰/۰۴۲ ،۰/۰۸۴)
ایده ال مثبت	$\tilde{v}_1^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_2^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_3^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_4^* = (1,1,1)$
ایده ال منفی	$\tilde{v}_1^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_2^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_3^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_4^- = (0,0,0)$

جدول ۱۲- اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس مقادیر شاخص CC_j

	D_j^*	D_j^-	CC_j	رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها
A_1	۳/۴۴۲	۰/۵۸۶	۰/۱۴۵	۳
A2	۳/۴۲۶	۰/۶۰۳	۰/۱۵۰	۲
A3	۳/۴۲۲	۰/۶۱۱	۰/۱۵۱	۱

1Fuzzy Positive Ideal Solution

2Fuzzy Negative Ideal Solution



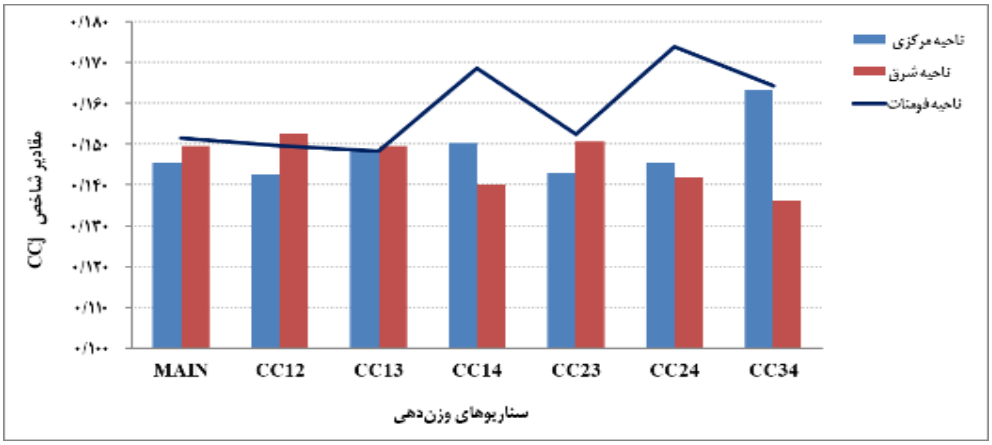
شکل ۱۴- اولویت‌بندی نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود ازنظر اجرای برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا

در سناریوی هفتم که وزن معیارهای سوم و چهارم جابجا شده است، گزینه A_1 (ناحیه عمرانی مرکزی) دارای بیشترین مقدار CCj معادل ۰/۱۶۳ نسبت به مقدار اولیه آن یعنی ۰/۱۴۵ است. همچنین در سناریوی دوم که وزن معیارهای اول و دوم جابجا شده است، گزینه A_2 (ناحیه عمرانی شرق) دارای بیشترین مقدار CCj معادل ۰/۱۵۲ نسبت به مقدار اولیه آن یعنی ۰/۱۵۰ است.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد در پنج سناریو از کل هفت سناریوی موجود، ناحیه عمرانی فومنات در رتبه اول ازنظر اجرای برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا قرارگرفته است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در سناریوهای ۱، ۴، ۵، ۶ و ۷، گزینه A_3 (ناحیه عمرانی فومنات) دارای بیشترین مقدار CCj به ترتیب معادل ۰/۱۵۱، ۰/۱۶۹، ۰/۱۵۲، ۰/۱۷۴ و ۰/۱۶۴ است. این در حالی است که گزینه A_2 (ناحیه عمرانی شرق) در سناریوهای دوم و سوم دارای بیشترین مقدار CCj به ترتیب معادل ۰/۱۵۲ و ۰/۱۵۰ است.

جدول ۱۳- تحلیل حساسیت مدل

وزن معیارها				مقادیر *CCj* برای گزینه‌های تصمیم‌گیری		
	W_1	W_2	W_3	W_4	A1	A2	A3
حالت اصلی=۱	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۱۴۵	۰/۱۵۰	۰/۱۵۱
۲ = CC_{12}	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۱۴۳	۰/۱۵۲	۰/۱۵۰
۳ = CC_{13}	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۱۴۹	۰/۱۵۰	۰/۱۴۸
۴ = CC_{14}	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۱۵۰	۰/۱۴۰	۰/۱۶۹
۵ = CC_{23}	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۱۴۳	۰/۱۵۱	۰/۱۵۲
۶ = CC_{24}	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۴۵	۰/۱۴۲	۰/۱۷۴
۷ = CC_{34}	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۱۶۳	۰/۱۳۶	۰/۱۶۴



شکل ۱۵- تحلیل حساسیت مدل به ازای سناریوهای وزن دهی

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به‌منظور تضمین مؤلفه‌های پایداری از جنبه‌های مختلف منابع و مصارف، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود واقع در حوضه آبریز سفیدرود بزرگ، به ارائه چارچوب مفهومی و تحلیلی راهبردهای پایدار مدیریت آب کشاورزی با استفاده از رویکرد تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته شد. همچنین به‌منظور برآورد مصارف آب کشاورزی، یک مدل تحلیلی برآورد مصارف آب کشاورزی مبتنی بر اجزاء و مؤلفه‌های مختلف در یک سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی پیچیده تهیه گردید.

نتایج بررسی‌ها نشان داد کل حجم آب مصرفی سالانه اراضی آبی در شرایط نرمال در حدود ۱/۸ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که از این میزان در حدود ۱۷۰۷ میلیون مترمکعب (۹۵٪) از منابع آب سطحی و ۹۰ میلیون مترمکعب (۵٪) از منابع آب زیرزمینی است. 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. با توجه به سطح زیر کشت اراضی آبی معادل ۱۹۱۱۴۱ هکتار، متوسط حجم آب مصرفی در کل اراضی آبی سامانه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در شرایط نرمال معادل ۹۴۰۴ مترمکعب در هکتار برآورد شده است.

بر اساس نتایج تحلیلی منابع و مصارف آب کشاورزی و همچنین شناسایی عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر مدیریت منابع و مصارف آب کشاورزی، بررسی‌های انجام‌شده در قالب رویکرد تلفیقی برنامه‌ریزی راهبردی و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور مدیریت پایدار منابع و مصارف آب کشاورزی که در راستای اسناد و برنامه‌های بالادستی مدیریت آب استان است، منجر به ارائه برنامه اقدامات مکانی سازه‌ای و غیر سازه‌ای مدیریت عرضه و تقاضا در سامانه منابع آب موردمطالعه گردید. این برنامه اقدامات 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 موردمطالعه معرفی شد. در پایان به‌منظور اولویت‌بندی برنامه اقدامات در نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود شامل ناحیه عمرانی مرکزی، ناحیه عمرانی شرق و ناحیه عمرانی فومنات، از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی استفاده شد.

به این منظور یک مدل تصمیم‌گیری با توجه به گزینه‌های موجود (نواحی عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود) بر اساس معیارهای پایداری منابع آب شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریت منابع و مصارف توسعه داده شد. مدل ارائه‌شده ترکیبی از مفاهیم فازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم تاپسیس فازی است که به کمک آن می‌توان مفاهیم مبهمی نظیر وزن معیارهای تصمیم‌گیری را در قالب یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره لحاظ نمود. از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیارها در فرآیند تصمیم‌گیری و از مدل تاپسیس در محیط فازی برای رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها استفاده شد. درنهایت، تحلیل حساسیت مدل فوق با جابجایی وزن معیارهای تصمیم‌گیری انجام گردید. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که در پنج سناریو از کل هفت سناریوی موجود، ناحیه عمرانی فومنات در رتبه اول ازنظر اجرای برنامه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضا قرار گرفت. بنابراین می‌توان عنوان کرد با توجه به اینکه یکی از اصول اولیه مدیریت، اطلاع از اولویت‌های مدیریتی است، این الگو و نتایج حاصل از آن می‌تواند راهکار مناسبی جهت اعمال مدیریت پایدار منابع و مصارف آب در سامانه‌های منابع آب بزرگ‌مقیاس باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abbasi, N., Bahramloo, R. and Movahedan, M. (2015). Strategic planning for Remediation and Optimization of Irrigation and Drainage Networks: A case study of Iran. Proc. *Agriculture and Agricultural Science*, 4, 211-221.

Abdallah, M., Hamdan, S. and Shabib, A. (2020). A multi-objective optimization model for strategic waste management master plans. *Journal of Cleaner Production*, 124714.

Abdelhaleem, F., Basiouny, M., and 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.

Akhmouch, A. and Correia, F. N. (2016). The 12 OECD Principles on Water Governance – When science meets policy. Utilities Policy, 43(Part A), pp. 14-20.

Baccour, S., Albiac, J., Kahil, T., Esteban, E., Crespo, D., and 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.

Barbosa, M.C., Alam, K. and Mushtaq, S. (2016). Water policy implementation in the state of São Paulo, Brazil: Key challenges and opportunities. *Journal of Environmental Science & Policy*, 60, pp. 11-18.

Barrett, S.M. (2004). Implementation studies: time for a revival? Personal reflections on 20 years of implementation studies. *Journal of Public Administration*, 82(2), pp. 249-269.

Baumgartner, R.J. and Korhonen, J. (2010). Strategic thinking for sustainable development. *J. Sustain. Dev*., 18(2), 71-75.

Baumgartner, R. and Rauter, R. (2016). Strategic perspective of corporate sustainability management to develop a sustainable organization. *J. Cleaner Production*., 141(1), 81-92.

Chang, H.H. and Huang, W.C. (2006). Application of a quantification SWOT analytical method. *Journal of Mathematical and Computer Modelling*, 43, 158-169.

Conrad, C., Usman, M. and Schönbrodt-Stitt, S. (2020). Remote sensing based assessments of land use, soil and vegetatio n status, crop production and water use in irrigation systems of the Aral Sea Basin. Journal of Water Security, 11, 100078.

David, F.R. (2011). Strategic management: concepts and cases. *Upper Saddle River (NJ)*: *Prentice Hall*.

Gallego-Ayala, J. and Ju´ızo, D. (2011). Strategic implementation of integrated water resources management in Mozambique: an A'WOT analysis. *Journal of Phys Chem Earth*, 36(14–15), 1103–1111.

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, T., Biggs, W., Gumma, M. K., Parthasaradhi, G. and Turral, H. (2008). Water scarcity effects on equitable water distribution and land use in a major irrigation project-case study in India. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134:1 (26).

Gosling, S. N. and Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Journal of Climatic Change*, 134: 371-385.

Hughes, D. A. and 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*, 32, 100763.

Hartmann, T. and Spit, T. (2014). Frontiers of land and water governance in urban regions. *Journal of Water International* 39(6), pp. 791-797.

Kahraman, C., Demirel, N.C. and Demirel, T. (2007). Prioritization of e-Government strategies using a SWOT-AHP analysis: the case of Turkey. *European Journal of Information Systems*, 16, 284-298.

Kajanus, M., Leskinen, P., Kurttila, M. and Kangas, J. (2012). Making use of MCDS methods in SWOT analysis: lessons learnt in strategic natural resource management. *Journal of Forest Policy and Economics*, 20, 1-9.

Lautze, J., de Silva, S., Giordano, M. and Sanford, L. (2011). Putting the cart before the horse: Water governance and IWRM. Natural Resources Forum: *A United Nations Development Journal*, 35(1), pp. 1-8.

Li, X., Zhang, C. and Huo, Z. (2020). Optimizing irrigation and drainage by considering agricultural hydrological process in arid farmland with shallow groundwater. *Journal of Hydrology*, 585, 124785.

Loucks, D. P. (2000). Sustainable water resources management. *Water Int*. Taylor & Francis.

Malczeweski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. Wiely & Sons.

Meza, I., Eyshi Rezaei, E., Siebert, S., Ghazaryan, G., Nouri, H., Dubovyk, O., Gerdener, H., Herbert, C., Kusche, J., Popat, E., Rhyner, J., Jordaan, A., Walz, Y., and Hagenlocher, M. (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.

Mitchell, B. (2011). The implementation gap: From policy to action. Published in: Water Innovation Forum Report: A competitive and innovative agriculture sector. London: Lawrence National Centre for Policy and Management.

Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B. and Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes: The Management and Transition Framework. *Journal of Environmental science and policy*, 13(7), pp. 571-581.

Pahl-Wostl, C., Arthington, A., Bogardi, J., Bunn, S. E., Hoff, H., Lebel, L., Schlüter, M., Nikitina, E., Palmer, M., Poff, L.N., Richards, K., Schulze, R., St-Hilaire, A., Tharme, R., Tockner, K. and Tsegai, D. (2013). Environmental flows and water governance: managing sustainable water uses. *Journal of Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3), pp. 341-351.

Petousi, I., Fountoulakis, M., Papadaki, A., Sabathianakis, I., Daskalakis, G., Nikolaidis, N. and Manios, T. (2017). Assessment of water management measures through SWOT analysis: the case of Crete Island, Greece. *Journal of Environmental Science*, 2, 59–622.

Portoghese, I., Giannoccaro, G. and Pagano, A. (2020). Modeling the impact of volumetric water pricing in irrigation districts wit h conjunctive use of water of surface and groundwater resources. *Journal of Agricultural Water Management*, 244, 106561.

Rachid, G. and Fadel, M. E. (2013). Comparative SWOT analysis of strategic environmental

assessment systems in the Middle East and North Africa region. *Journal of Environmental Management*, 125, 85-93.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1), 83–98.

Srdjevic, Z., Bajcetic, R. and 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 Resource. Management*, 26 (12), 3379-3393.

Thaler, T., Nordbeck, R. and 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.

Tortajada, C. (2010). Water governance: some critical issues. *International Journal of Water Resources Development*, 26 (2), pp. 297-307.

Tropp, H. (2007). Water governance: trends and needs for new capacity development. *Journal of Water Policy*, 9(2), pp. 19-30.

Tziritis, E., Panagopoulos, A. and 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).

Venot, J., Reddy, V. R. and Umapathy, D. (2010). Coping with drought in irrigated South India: Farmers' adjustments in Nagarjuna Sagar. *Journal of Agricultural Water Management*, 97(10), 1434-1442.

Vermillion, D.L. (2003). Irrigation Sector Reform in Asia: From patronage under participation to empowerment with partnership. *In Asian Irrigation in Transition*. New Delhi: Sage publications.

Yang, D., Wang, X. and Kang, J. (2018). SWOT Analysis of the Development of Green Energy Industry in China: Taking Solar Energy Industry as an Example. *2nd International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*, 103-107.

Yuksel, I. and Dagdeviren, M. (2007). Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis: a case study for a textile firm. *Journal of Information Sciences*, 177, 3364-3382.