Research Paper

Economic-Environmental Analysis of Water Resources Development Plans in Drought Condition in Sistan Region with IWRM Approach

Masoumeh Keykha[1], Ali Sardar Shahraki[2*], Mahmood Hashemi Tabar[3]

[1] MA in Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran
2 Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran
3 Assistant Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran

10.22125/IWE.2022.352948.1655

Received:
July 23, 2022
Accepted:
November 12, 2022
Available online:
October 3, 2023

Keywords:
Environmental Prioritization, Water Resources Development, Interconnected Management (IWRM), Gray Technique (GRA), Sistan

Abstract

Water is one of the most important issues in the world, which plays a significant role in people's lives. Due to progress in all elements of society, especially progress in socio-economic and industrial sectors, as well as population growth, the need for water has increased. With a general look at the experiences of recent years and global experiences, it shows that the limitations of water resources are not caused by the lack of these resources, but by the lack of resource management. In this regard, the management of water resources in arid and semi-arid areas such as Sistan, which faces successive droughts, is very important. Therefore, in the present study, by using the multi-indicator gray technique and completing the questionnaire from two groups of experts (farmers and experts), the relevant information was completed. MCDM$_{SOLVER}$ software version 2018 was used for data analysis. According to the results based on four economic, social, technical and environmental approaches, the most important findings of the research from the experts' point of view are the reduction of water losses (evaporation reduction by 50%), irrigation efficiency of 50% in the agricultural sector and the reduction of irrigation losses (evaporation reduction to 30%) have been placed in the first to third priority respectively. Also, the transfer of water to the lands of Zabul has been given the last priority. Also, from the point of view of farmers, the most important results of this research, reduction of water losses (evaporation reduction by 50%), irrigation efficiency of 50% in the agricultural sector and irrigation efficiency of 70% in the agricultural sector are ranked first to third respectively. Also, the transfer of the second drinking water pipeline to Zahedan city has been given the last priority. Therefore, it is suggested that according to the drought conditions of Sistan and the role of water resources in people's lives and livelihoods, the authorities should pay special attention to the management of water resources and experts should provide scientific solutions to deal with water shortage in different sectors in a long-term period in Sistan.

* **Corresponding Author:** Ali Sardar Shahraki
Address: Department, Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran
Email: a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir
Tel: 05431136872

1. Introduction

In today's world, at the same time as the population increases, the demand for water is increasing day by day, and industrial and agricultural progress is inevitable in today's world. On the other hand, the limited water resources and the principle of sustainability in its management have made it impossible to supply water to all existing sectors.

2. Materials and Methods

In order to achieve the goal of the research, the advanced gray technique was used. In this technique, the opinions of experts and experts should be used for the required information during several stages. For this purpose, a pre-made questionnaire was prepared and the criteria and sub-criteria were extracted based on the opinion of the relevant experts. Finally, according to the experts in this study, they were divided into two categories of farmers and water experts, and 30 experts and expert farmers were identified from each category and the relevant questionnaires were collected from them in 2022.

3. Results

Based on the obtained results, according to the high water demand of Sistan region in different parts, including the agricultural and drinking sector and the Hamon International Reservoir, as well as the consecutive droughts and the damages that these droughts have caused to the people of this region, in order to improve these management conditions The integration of water resources is necessary for this region.

4. Discussion and Conclusion

Due to the lack of water resources in this area, it is suggested to use modern irrigation methods to manage and exploit water resources. It is suggested to increase the role of education and public participation in the use of water resources.

5. Six important references

1) Ghaffari Moghadam, Z., HashemiTabar, M., Sardar Shahraki, A. 2022. Economic Model for Optimal Allocation of Water Resources with an Emphasis on Risk and Consistency Index in the Sistan Region: The Application of Interval Two-Stage Stochastic Programming Method, Environmental Energy and Economic Research, 6(3): 1-13.

2) Ghaffari Moghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., Sardar Shahraki, A. 2022. Optimal Allocation of Water Resources in the Agricultural Sector by Using The Stackelberg-Nash-Cournot Model and emphasis on water market (Case Study: Sistan Plain Pipe Water Transfer Project), Iranian journal of Ecohydrology, 9(1): 273-289.

3) Khairi, M., Safdari, M., Sardar Shahraki, A. 2022. An Integrated Investigation into the Socioeconomic Factors Threatening Crop Marketing: A Comparative Study on Faryab Province of Afghanistan and the Sistan Region of Iran, Environmental Energy and Economic Research, 6(2): 1-20.

4) Kiani Ghalehsard, S., Shahraki, J., Akbari, A., Sardar Shahraki, A. 2021. Assessment of the impacts of climate change and variability on water resources and use, food security, and economic welfare in Iran, Environment, Development and Sustainability, 23(10): 14666-14682.

5) Sardar Shahraki A., Javad Shahraki, J., Hashemi Monfared, S.A. 2016. Ranking and Level of Development According to the Agricultural Indices, Case Study: Sistan Region. International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD), 6 (1), 93-100

5) Sardar Shahraki, A., Karim MH. 2018. The Economic Efficiency Trend of Date Orchards in Saravan County. Iranian Economic Review. 22(4): 1093-1112.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to the Regional Water Affairs Organization for providing part of the information for this research.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال چهاردهم. شماره پنجاه و سه .پاییز ۱۴۰۲

تحلیل اقتصادی-زیست محیطی طرح های توسعه منابع آب در شرایط خشکسالی در منطقه سیستان با رویکرد IWRM

معصومه کیخا[۱]، علی سردارشهرکی*[۲۲]، محمود هاشمی تبار[۳]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۸/۲۱

مقاله پژوهشی

چکیده

آب یکی از مهم‌ترین مسائل جهان می‌باشد، که در زندگی مردم نقش بسزایی دارد. با توجه به پیشرفت در تمامی ارکان جامعه خصوصاً پیشرفت در بخش‌های اقتصادی-اجتماعی، صنعتی و همچنین رشد جمعیت نیاز آبی افزایش یافته است. با نگاهی کلی به تجربه‌های سال‌های اخیر و تجربه‌های جهانی، نشان دهنده این موضوع می‌باشد که محدودیت‌های منابع آب ناشی از کمبود این منابع نیست، بلکه ناشی از عدم مدیریت منابع می‌باشد. در این راستا، مدیریت منابع آب در نواحی خشک و نیمه خشک همچون سیستان که با خشکسالی پی‌درپی روبه‌رو می‌باشد، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. لذا در مطالعه حاضر با استفاده از تکنیک چند شاخصه خاکستری و تکمیل پرسشنامه از دو دسته خبرگان (کشاورزان و کارشناسان) اطلاعات مربوطه تکمیل شد. برای تحلیل و آنالیز اطلاعات نیز از نرم افزار MCDMSOLVER نسخه ۲۰۱۸ استفاده گردید. طبق نتایج براساس چهار رویکرد اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست محیطی، از مهم‌ترین یافته‌های تحقیق از دیدگاه کارشناسان می‌توان به کاهش تلفات آب (کاهش تبخیر به میزان ۵۰٪)، راندمان آبیاری ۵۰٪ در بخش کشاورزی و کاهش تلفات آبیاری (کاهش تبخیر به میزان ۳۰٪) به ترتیب در اولویت اول تا سوم قرار گرفته‌اند. همچنین انتقال آب به اراضی زابل در اولویت آخر قرار گرفته است. همچنین از دیدگاه کشاورزان مهم‌ترین نتایج این تحقیق، کاهش تلفات آب (کاهش تبخیر به میزان ۵۰٪)، راندمان آبیاری ۵۰٪ در بخش کشاورزی و راندمان آبیاری ۷۰٪ در بخش کشاورزی به ترتیب در اولویت اول تا سوم قرار گرفته‌اند. همچنین انتقال خط لوله دوم آب شرب به شهرستان زاهدان در اولویت آخر قرار گرفته است. از این رو پیشنهاد می‌گردد با توجه به شرایط خشکسالی سیستان و نقش منابع آب در زندگی و معیشت مردم، مسئولان توجه ویژه‌ای به نحوی مدیریت منابع آب داشته باشند و کارشناسان، راهکارهای علمی جهت مقابله با کم آبی در بخش‌های مختلف در یک دوره بلندمدت در منطقه سیستان ارائه کنند.

واژهای کلیدی: اولویت‌بندی زیست‌محیطی، توسعه منابع آب، مدیریت بهم پیوسته (IWRM[4])، تکنیک خاکستری (GRA[5])، سیستان

[۱] کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
[۲] نویسنده مسیول: دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان (Email: a.s.shahraki@usb.ac.ir)
[۳] استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

1- Integrated Water Resource Management
5- Grey Relational Analysis

مقدمه

در جهان امروز هم زمان با افزایش جمعیت روز به روز تقاضا برای آب هم درحال افزایش می‌باشد، همچنین پیشرفت صنعتی و کشاورزی در دنیای امروز امری اجتناب ناپذیر است (Kiani Ghalehsard et al., 2021). از طرفی محدود بودن منابع آب و اصل پایداری در مدیریت آن، تأمین آب کلیه بخش‌های موجود را غیر ممکن ساخته است، لذا به منظور تأمین و عرضه آب با اطمینان پذیری بالا و رعایت اولویت‌های تخصیص در بین مصارف مختلف نیاز به برنامه‌ای جامع و مدیریت دقیق می‌باشد (Sardar Shahraki et al., 2016). نامگذاری سال ۲۰۰۳ میلادی به نام سال جهانی آب شیرین، بیانگر اهمیت این موضوع در حیاط بشر و ضرورت اطلاع رسانی درباره آن و استفاده بهینه از این منبع ذی‌قیمت است (UNDP, 2007). سابقه مدیریت منابع آب به صورت علمی، درسطح جهان، به چند دهه قبل باز می‌گردد (Yaqob et al., 2015). شبکه مشارکت جهانی آب مدیریت بهم پیوسته منابع آب را اینگونه تعریف می‌نماید: "فرآیند ارتقاء توسعه هماهنگ و مدیریت آب زمین و منابع مرتبط، جهت حداکثر رساندن منابع اقتصادی و رفاه اجتماعی بصورت متوازن و بدون تهدید پایداری اکوسیستم حیاتی" (Vonk et al., 2014). تا اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی، جنبه‌های مختلف منابع آب مانند کیفیت، آب زیرزمینی، تأمین و بهداشت آب، و ... معمولاً به صورت مجزا و اغلب مستقل در نهادهای متفاوت مدیریت می شد (Sardar Shahraki and Karim, 2018). اما مدیریت منابع آب در جهت حصول به منافع متضاد در یک روش چند بخشی، هماهنگ، مشارکتی، انعطاف پذیر و شفاف حرکت می‌کند، که اصطلاحاً این روش را مدیریت بهم پیوسته منابع آب می نامند (Islar et al., 2014). نتایج کنفرانس‌های جهانی برگزار شده در ارتباط با منابع آب نشان دهنده این موضوع می‌باشد، که بحران آب، به نحوی مدیریت منابع آب بستگی دارد چرا که امکان افزایش منابع آب وجود ندارد بلکه تنها راه ممکن جهت از بین بردن بحران آب، مدیریت صحیح و مناسب منابع آب می‌باشد. به همین علت مجامع بین‌المللی مدیریت به هم پیوسته منابع آب را به عنوان یک رویکرد مناسب جهت برون رفت از بحران آب مطرح کرده‌اند (سردارشهرکی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به اینکه امروزه جمعیت جهان رو به افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۰ میلادی به ۸/۱ میلیارد نفر نیز برسد و همراه با آن، لزوم افزایش سهم کشاورزی آبی (از ۳۵٪ به ۴۵٪) جهت تولید غذای جمعیت در حال رشد گریبان‌گیر کشاورزی جهان خواهد شد (Khairi et al., 2022) همچنین بنا به عقیده بلنک جهانی، مهم‌ترین علت کمبود آب در سطح جهان، مدیریت ضعیف و ناکارآمد نظام‌های آبیاری و عدم تعادل میان درآمدها و هزینه‌های این بخش است (Lin et al., 2007). بسیاری از صاحب نظران تصمیم‌گیری را به عنوان عاملی اساسی در مدیریت می‌شناسند، تصمیم‌گیری منتج از فرآیندی است که نهایتاً به تصمیم منتهی می‌شود و این در حالی است که کسانی که در فرآیند تصمیم‌گیری نیستند، صرفاً نتیجه تصمیم را مشاهده می‌نمایند. در سال‌های اخیر، توجه مجامع دانشگاهی در کشور به علوم تصمیم‌گیری بیشتر جلب شده است و در راستای انتخاب گزینه برتر در زمینه‌های صنعت، بازرگانی، تجارت، معدن و غیره تحقیقات نسبتا جامعی انجام شده است. اما زمینه طرح‌های توسعه منابع آب و لزوم بکارگیری تکنیک‌های علمی تصمیم‌گیری در انتخاب مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه جهت شروع عملیات اجرایی برای هر پروژه، تحقیقات کاملی صورت نگرفته است. با مطرح شدن اعتبارات موضوع تبصره ۷۶ و ماده ۱۰۶ قانون برنامه‌های دوم و سوم توسعه کشور و امکان استفاده از این اعتبارات با شرط مشارکت مردم در طرح‌های آبیاری و زهکشی، مسئله اولویت اجرا برای هریک از طرح‌ها،حساسیت ویژه‌ای پیدا کرده است. از طرفی لزوم اولویت‌بندی طرح‌ها و پروژه‌های ملی و منطقه‌ای به دلیل محدودیت منابع مالی و میزان بازگشت سرمایه‌گذاری بسیار مهم می‌باشد. وجود پروژه‌های ناتمام در کشور و عدم تولنائی دولت در تأمین بودجه لازم برای اتمام این پروژه‌ها نیز سبب شده است تا موضوع اولویت‌بندی اجرای طرح‌ها، اهمیتی بیش از پیش، پیدا کند. در این راستا استفاده از یک روش علمی تصمیم‌گیری در سطح استان‌ها و حتی کشور کاملاً

ضروری بنظر می‌رسد (Ghaffari Moghadam et al., 2022). در این راستا اگرچه مدیریت منابع موجود آب به عنوان مهم‌ترین راهکار مقابله با بحران آب و خشکسالی معرفی می‌شود با این حال توجه به طرف عرضه این منابع از جمله طرح‌های انتقال آب نیز دارای اهمیت است، به علاوه این طرح‌ها خود به عنوان بخشی از برنامه‌های مدیریت منابع آب نیز شناخته می‌شود. از طرفی دیگر کاهش بارندگی و توزیع نابهینه زمانی و مکانی آب باعث حادتر شدن موضوع بحران آب شده است (Aliahmadi et al., 2021). با توجه به اینکه کشور در سال‌های اخیر در کنار مشکلات کمبود آب، بارش ناچیز، توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارش با خشکسالی نیز مواجه شده، که مدیریت منابع آب از یک طرف و برداشت بی‌رویه و عدم مدیریت صحیح بهره‌برداری از منابع آب محدود از سوی دیگر در حال ضعیف شدن این منابع است به همین علت مسئله انتقال آب در سال‌های اخیر مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب قرار گرفته است (Shahraki et al., 2012) و همچنین با توجه به اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه خشک کره زمین واقع شده و میانگین بارش سالانه آن ۲۵۰ میلی‌متر کمتر از یک سوم میانگین جهانی است. در حال حاظر میانگین سرانه آب در دسترس مردم جهان ۶۶۶۰ و در ایران کمتر از ۱۷۵۰ مترمکعب نفر سال، متوسط حجم کل آب سالانه قابل استحصال کشور حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب است. میانگین سرانه آب در ایران در طول سه دهه گذشته حدود ۵۰ درصد کاهش داشته است (Sardar Shahraki et al., 2018). علاوه بر آن طبق گزارشات ناسا درباره شرایط جوی در ۳۰ سال آینده بیان می‌کند که ایران در رتبه چهارم فهرست ۴۵ کشور در معرض خطر خشکسالی است. منطقه سیستان از جمله مناطقی است که با دارا بودن آب و هوای بسیار گرم و خشک، همواره پدیدهای طبیعی از جمله خشکسالی به وفور در آن دیده شده است و ساکنان آن خسارات بسیار زیادی را متحمل شده‌اند (Sardar Shahraki et al., 2018)، علاوه برکاهش بارندگی تغییر جهت جریان آب رودخانه توسط افغانستان نیز باعث کاهش دبی و کاهش آورد به این منطقه شده است. بنابراین با توجه به اینکه سیستان از شرایط آبی مناسبی برخوردار نبوده و بحران آب در این منطقه بر اساس گزارشات روز به روز شدت می یابد، توجه به مدیریت منابع آب و اولویت‌بندی طرح‌های توسعه آبی در این منطقه لازم و ضروری می‌باشد. باتوجه به پیش گفته‌ها در ارتباط با منطقه سیستان اهداف پژوهش حاضر به شرح زیر است:

- ✓ ارزیابی و اولویت‌بندی طرح‌های توسعه منابع آب در منطقه سیستان با رویکرد بهم پیوسته منابع آب با توجه به جنبه‌های مختلف مدیریتی (اقتصادی، زیست محیطی، فنی و اجتماعی)
- ✓ کاربردی کردن اولویت‌بندی طرح‌های توسعه منابع آب در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک چند شاخصه خاکستری (GRA)

پیشینه تحقیق

در ارتباط با پژوهش حاضر مطالعات مختلفی صورت گرفته است که در ذیل به بخشی از این مطالعات اشاره می‌شود:

بابایی و همکاران (۱۳۹۶)، به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر خشک شدن آب دریاچه ارومیه براساس مدل دلفی پرداختند. که براساس یافته های پژوهش آنها، اعضا پانل دلمی، در مجموعه ۲۰ گویه را از مهم‌ترین عوامل موجود در راستای خشک شدن آب دریاچه ارومیه مطرح کردن، که نهایتاً ۳ گویه بیشترین ضریب اهمیت را از نظر اهمیت عنوان شد که عبارتند از: شرایط اقلیمی، افزایش سدها بدون برنامه، حفرچاه‌های غیر مجاز و برداشت از آن، وجود کشت‌های نامناسب کشاورزی و پر آب، مصرف شیوهای سنتی آبیاری و.... دانستند. نصرالهی و زارعی (۱۳۹۵)، به اولویت‌بندی فعالیت‌های صنعتی استان یزد با تأکید بر اهمیت منابع آب: تلفیق مدل های داده-ستاده و فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند، براساس نتایج این پژوهش صنعت دستگاهای برقی و ماشین‌آلات در مقایسه با سایر صنایع استان دارای بالاترین اولویت به منظور سرمایه‌گذاری‌های بیشتر است همچنین این نتایج اهمیت منظور داشتن معیار آبری را نشان میدادند. سردارشهرکی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی رویکردهای مدیریتی بهرمبرداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی

پرداختند. طبق نتایج بر اساس سه رویکرد اقتصادی، اجتماعی و فنی، بخش کشاورزی با بیشترین وزن، در اولویت قرارگرفته است. وزن بخش کشاورزی در رویکردهای مذکور به عنوان گزینه برتر با وزن ۶۰۳٪ به دست آمد. در رویکرد زیست محیطی، بخش محیط‌زیست به عنوان گزینه برتر با وزن ۶۰۳٪ و بخش کشاورزی و شرب به ترتیب با وزن ۳۶۴٪ و ۳۳٪ در اولویت دوم و سوم قرار گرفتند. دحمیاوی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] SAW و WPM اقدام به اولویت‌بندی اجرای طرح‌های توسعه منابع آب روستایی استان خوزستان پرداختند. در این تحقیق به منظور تعیین وزن نسبی و اولویت‌بندی طرح‌های مورد نظر از دو گروه مسئولان (شامل مدیریت حوضه‌ها و کشاورزان) استفاده شده است. محاسبات به دست آمده نشان داده است که قضاوت مدیریت‌ها با مدیران امور کاملاً با یکدیگر منطبق بوده و هر دو رده تصمیم‌گیری یکسانی در ذهن خود دارند. در این گروه، رؤسای ادارات، بین دو طرح سعدون و دهیمیه اولویت اجرا را به طرح سعدون اختصاص دادند و در بقیه قضاوت‌ها با مدیران امور و مدیریت‌ها یکسان بوده است به طوری که نظرات در هر سه رده این گروه، به هم نزدیک بوده است که این امر مبین اتفاق نظر بیشتر و هماهنگی بین آنها بوده است. نوحه‌گر و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از تلفیق روش AHP[2] و TOPSIS[3] به اولویت‌بندی منابع آب تامین کننده شهرستان بندرعباس در شرایط خشکسالی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که چاه شمبل با مقدار عددی ۳۵۳٪ در شرایط خشکسالی به عنوان بهترین منبع تامین‌کننده آب شرب بندرعباس است و سد زاکین با مقدار عددی ۸۸۵٪ در پایین‌ترین اولویت آب شرب می‌باشد. برشنده و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت یکپارچه منابع آب غرب دریاچه ارومیه پرداختند. در این تحقیق به منظور بکارگیری تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره منابع آب در غرب دریاچه ارومیه ۸ معیار تعیین گردید. سپس وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین و با استفاده از روش SAW و TOPSIS رتبه‌بندی شدند. با ترکیب حالت‌های مختلف از گزینه‌ها ۵ سناریو تعریف گردید و رتبه‌بندی سناریوها با استفاده از روش‌های وزن‌دهی ساده و شباهت به حل ایده‌آل انجام شد. ضرغامی و احسانی (۱۳۹۰)، با به کارگیری چهار روش چند معیاره توسط مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بهترین مسیر پروژه انتقال آب رودخانه ارس به دریاچه ارومیه را با در نظرگرفتن چهار معیار توسعه پایدار شامل: هزینه اجرای طرح، اثرات زیست محیطی، سهولت اجرا و پذیرش اجتماعی انتخاب نمودند. کارآموز (۲۱)، به بررسی چالش‌های کاربرد رویکردهای‌نوین در مدیریت منابع آب ایران پرداخته است. در این مطالعه پس از بررسی جایگاه رویکردهای نوین در مدیریت منابع آب، به بررسی چگونگی کاربردی کردن برخی از رویکردهای‌نوین در شرایط فعلی کشور پرداختند. میان‌آبادی و افشار (۱۳۸۵)، نیز به مطالعه تصمیم‌گیری گروهی فازی ناهمگن در مدیریت یکپارچه منابع آب پرداختند. در این مطالعه فرایند جدیدی برای تصمیم‌گیری گروهی ناهمگن بر مبنای توافق گروهی ارائه شد. برای تجمیع دادها از عملکرد HWA استفاده شده و وزن نسبی تصمیم‌گیران با استفاده هم زمان از ارزیابی تصمیم‌گیران نسبت به یکدیگر و ارزیابی ذهنی مدیرگروه در مورد اهمیت نسبی تصمیم‌گیران محاسبه شد. در تمامی مراحل این فرایند، به ویژه مراحل تجمیع و محاسبه میزان توافق گروهی، وزن نسبی تصمیم‌گیران برای تحلیل گزینه‌ها و رتبه‌بندی راه حل‌های ممکن مدیریت منابع آب محاسبه و در نظرگرفته شده است. کاربرد روش پیشنهادی به حل مسائلی که در آنها ذی‌مدخلان مختلفی در فرایند تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب مشارکت و وزن و اهمیت نسبی آنها با یکدیگر متفاوت است، کمک خواهد کرد. زارعپور و قدیمی (۱۳۸۵)، به بررسی مفاهیم ارزش گذاری آب و مدیریت یکپارچه منابع آب پرداخته‌اند. در این مطالعه بیان شده است، مدیریت یکپارچه منابع آب سعی در تخصیص بهینه

3-Simple Additive Weighting
4-Analytic Hierarchy Process
5-Technique For Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

منابع آب و جلوگیری از استفاده بی‌رویه و نامطلوب از این منابع، توجه به نسل‌های آینده و حفاظت از اکوسیستم طبیعی دارد، هدف پژوهش مذکور تبیین مفاهیم ارزش و ارزش اقتصادی و ارتباط با فرایند مدیریت یکپارچه در سطح حوضه آبریز بوده است. نتایج آنها نشان میدهد جهت تحقق مدیریت یکپارچه منابع آب یکی از مهمترین ابزارها و شاید مهمترین آنها ارزشگذاری منابع آب به منظور استفاده از آن به عنوان یک معیار در تخصیص منابع آب می‌باشد. Islar & Boda (2014) با بررسی پروژهای بزرگ مقیاس انتقال آب در ترکیه به بحث ناپایداری سیاسی منتج از این پروژها پرداختند، نتایج آنها نشان می‌دهد که، عدم مشارکت ذینفعان و تقسیم ناعادلانه منافع حاصل از این پروژه را علت ناپایداری سیاسی و اکولوژیکی و مناقشات اجتماعی معرفی کردند. Maknoon و همکاران (۲۰۱۲) ، با اشاره به انتقال آب از حوضه دز به قم رود شرایط اجرای سه پروتکل پیشنهادی در مدیریت منابع آب بین حوض‌های را منوط به رعایت پروتکل‌های انتقال آب به منظور توجیه اقتصادی پروژ دانستند. Boddu و همکاران (۲۰۱۱) ، با مروری بر پروژهای انتقال آب بین حوضه‌ای در هند، چین و استرالیا به بیان مشخصات پروژه، شرایط اجرایی، مزایا و معایب آن‌ها پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که، توجیه انجام پروژهای انتقال آب بین حوض‌های را لازم منوط تجربه و تحلیل دقیق و اعمال ملاحضات محیط زیستی بیان کرد. Feng و همکاران (۲۰۰۷) ، به بررسی اثرات اقتصادی و اجتماعی طرح‌های انتقال آب از شمال به جنوب چین پرداختند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد، که یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری برای ارزیابی میزان آسیب پذیری منابع آب موجود در چین نیاز است. مدیریت منابع آب با رویکرد بهم پیوستگی و یکپارچه منابع آب از موضوعات بروز در علوم آب و اقتصاد کشاورزی می باشد. سوابق تحقیق به روشنی این موضوع را تأیید می کند. از طرفی تکنیک های تصمیم گیری چندشاخصه (MCDM) ابزار قدرتمند در تصمیم گیری می‌باشد. همچنین با توجه به پیش گفته منطقه سیستان از شرایط آبی خاص و بحرانی رنج می برد. در این تحقیق سعی خواهد شد یکی از مدل‌های پیشرفته رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه (مدل خاکستری (GRA)) در منطقه سیستان در جهت مدیریت منابع آب با رویکردهای مختلف زیست محیطی و اقتصادی مدل‌سازی و اجرایی شود.

روش تحقیق

سیستم خاکستری به وسیله‌ی اعداد خاکستری، معادله‌های خاکستری و ماتریس‌های خاکستری توصیف می‌شود. در این بین، اعداد خاکستری مانند اتم‌ها و سلول‌های این سیستم است. عدد خاکستری قادر می‌باشد عددی را با نااطمینانی تعریف کند. بطور مثال رتبه معیارها در یک تصمیم‌گیری، بصورت متغیرهای زبانی مطرح می‌گردند که می‌توان آن را با بازه‌های عددی بیان کرد، که این بازه‌های عددی اطلاعات نامطمئن را شامل خواهد شد. در سال ۱۹۸۲" ،جو لانگ دنگ" اولین مقاله تحقیقی خود را در ارتباط با مفاهیم و تئوری خاکستری در مجله بین‌المللی"Systems & Control" تحت عنوان"مسائل کنترل سیستم های خاکستری" به چاپ رسانید. وی بر روی پیش‌بینی و کنترل سیستم‌های اقتصادی و سیستم‌های فازی مطالعات فراوانی انجام داد، و با سیستم‌های با عدم قطعیت بالا مواجه بود شاخصه‌های این سیستم‌ها به سختی با ریاضیات فازی و یا آمار و احتماالت توصیف می‌شد. ریاضیات فازی بطور کلی با مسائلی مواجه است که عدم قطعیت توسط خبرگان بوسیله توابع عضویت گسسته/ پیوسته قابل بیان است. آمار و احتملات نیز به توابع توضیع و نمونه‌گیری بالا جهت رسیدن به روایی لازم نیاز دارد. اسم سیستم‌های خاکستری بر پایه رنگ موضوعات تحت بررسی نام گذاری شد یکی از بهترین این نمونه "جعبه سیاه" این واژه به قطعه‌ای اطلاق می‌گردد که تمامی روابط و ساختارهای داخلی آن کاملا کد گذاری شده و ناشناخته است. در این جا کلمه "سیاه" بیانگر ناشناخته بودن اطلاعات است. "سفید" برای اطلاعات کاملاً شناخته شده و "خاکستری" برای آن دسته از اطلاعات که قسمتی از آنها معلوم و قسمتی نامعلوم است، به کار گرفته می‌شود. بر این اساس سیستم‌های با اطلاعات کاملاً معلوم را "سیستم سفید"، سیستم های با اطلاعات ناشناخته و یا عدم داده "سیستم سیاه" و سیستم‌های با

اطلاعات بخشی معلوم و بخشی ناشناخته را "سیستم خاکستری" نامند (Deng, 1989).

متغیرهای خاکستری

به مرور و تکمیل تئوری خاکستری، برخی قواعد و اصول اصلی توسط "دنگ" به شرح زیر مطرح گردید:

اصل ۱: اصل اختلاف

اختلاف دلالت بر وجود آگاهی است. آگاهی از بخشی از این اطلاعات باعث تشخیص تفاوت میان آنها است. هنگامی که می‌گوییم شئ A با شئ B تفاوت دارد، به این معناست که اطلاعات خاصی از شئ A وجود دارد که در B نیست و یا از آن کمتر یا بیشتر است.

اصل ۲: اصل غیر یکتایی در جواب

جواب هر مسئله با اطلاعات ناقص و غیر قطعی یکتا نیست. اصل غیر یکتایی یکی از اصلی‌ترین قوانین تئوری سیستم های خاکستری است که به سبب ایجاد جواب‌های چندگانه با انعطاف بیشتری برای رسیدن به اهداف حرکت می‌کند.

اصل ۳: اصل حداقل اطلاعات

یکی از مشخصه‌های تئوری سیستم‌های خاکستری حداکثر استفاده و یا استفاده مؤثر از "حداقل حدود اطلاعات" در دسترس است. برتری تئوری سیستم‌های خاکستری در توانایی آن در حل مسائل در شرایط با عدم قطعیت با "نمونه های کوچک" و یا" اطلاعات ضعیف" است (Deng, 1989).

اصل۴: اصل شناخت محور

اطلاعات اساس شناخت و فهم یک پدیده است. این اصل بیان می‌دارد که هر شناختی مبتنی بر اطلاعات است و بدون اطلاعات راهی برای شناخت آن توسط افراد وجود ندارد. توسط اطلاعات کامل و دقیق، افراد شناخت قطعی و محکمی داشته اما به دلیل اطلاعات جزئی، ضعیف و غیر قطعی شناخت افراد نیز ناقص و به عباراتی "خاکستری" است (تقوی فرد و ملک، ۱۳۹۰).

اصل۵: اصل اولویت اطلاعات جدید

بخش جدیدتر اطلاعات از یک مسئله اثر بیشتری نسبت به داده‌های قدیمی دارد. با دادن وزن بیشتر به داده‌های جدید، نتایج به مراتب بهتری در مدلسازی، پیش‌بینی، تجزیه و تحلیل، ارزیابی و تصمیم‌گیری خاکستری قابل دستیابی است. فرایند " جلبه‌جائی داده‌های قدیمی با اطلاعات جدیدتر " بر گرفته از این اصل است.

اصل۶: اصل خاکستری بودن اطلاعات

هر دانش و اطلاعاتی از یک پدیده کامل و مطلق نیست و شناخت و فهم آدمی از اشیای پیرامون با گذشتن زمان و دستیابی به دانش و اطلاعات جدید رشد و توسعه می‌یابد. از این دیدگاه، خاکستری بودن هر اطلاعاتی یک امر ذاتی است و "خاکستری" بودن مطلق است.

تعریف عدد خاکستری

عدد خاکستری عددی است که مقدار دقیق آن معلوم نیست، اما محدوده‌ای که در آن قرار می‌گیرد مشخص است. به عبارتی عدد خاکستری یک بازه یا مجموعه‌ای از اعداد است. در حالت کلی فرض کنید X مجموعه مرجع باشد. آنگاه مجموعه خاکستری G از مجموعه مرجع X با دو نماد $\bar{\otimes}_G(x)$ و $\underline{\otimes}_G(x)$ براساس رابطه (۱) تعریف می شود:

$$\left\{\bar{\otimes}_G(x): x \to [0,1]\right. \quad (۱)$$

$$\left\{\bar{\otimes}_G(x): x \to [0,1]\right. \quad (۲)$$

که در این رابطه $\underline{\square}_G(x) \geq \overline{\square}_G(x)$ و $x \in X$ و می باشد. $\overline{\square}_G(x)$ و $\underline{\square}_G(x)$ به ترتیب حد بالا و حد پایین از تابع از عضویت G می‌باشند. هنگامی $\underline{\square}_G(x) = \overline{\square}_G(x)$ باشد، مجموعه خاکستری G تبدیل به مجموعه فازی می‌شود. این قابلیت نشان دهنده‌ی شمول تئوری خاکستری نیست به شرایط فازی و انعطاف آن در مواجهه با مسائل غیر قطعی است (Deng, 1989).

عملگر های اصلی خاکستری

بطور کلی روابط تعریف شده میان اعداد حقیقی برای مجموعه‌های خاکستری نیز قابل تعمیم است (۲۹). عملگرهای بازه‌ای‌توسط «مور» گسترش‌یافت. عملگرهای میان دو عدد خاکستری $\otimes G_1 = \left[\underline{G}_1 \overline{G}_1\right]$ و $\otimes G_2 = \left[\underline{G}_2, \overline{G}_2\right]$ در قالب رابطه ۲ تا ۶ قابل تعریف است (۳۲):

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 = \left[\underline{G}_1 + \underline{G}_2, \overline{G}_1 + \overline{G}_2\right] \quad (۳)$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = \left[\underline{G}_1 - \overline{G}_2, \overline{G}_1 - \underline{G}_2\right] \quad (۴)$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = \left[\min(\underline{G}_1\underline{G}_2, \underline{G}_1\overline{G}_2, \overline{G}_1\underline{G}_2, \overline{G}_1\overline{G}_2), \max(\underline{G}_1\underline{G}_2, \underline{G}_1\overline{G}_2, \overline{G}_1\underline{G}_2, \overline{G}_1\overline{G}_2)\right] \quad (۵)$$

$$\otimes G_1 \div \otimes G_2 = \left[\underline{G}_1, \overline{G}_1\right] \times \left[\frac{1}{\underline{G}_2}, \frac{1}{\overline{G}_2}\right] \quad (۶)$$

اگر K یک عدد حقیقی مثبت باشد، ضرب عددی آن در مجموعه خاکستری G به صورت رابطه ۷ خواهد بود:

$$K.\otimes G = \left[K\underline{G}_1, K\overline{G}_2\right] \quad (۷)$$

فاصله مینکفسکی

فاصله مینکفسکی بین دو عدد $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ به صورت رابطه‌ی ۱۸ تعریف می شود (Deng, 1989):

$$D_{G_1G_2} = \frac{1}{\sqrt[P]{2}}\left[2(\underline{G}_1 - \underline{G}_2)^P\right]^{\frac{1}{P}} = \left(\frac{1}{\sqrt[P]{2}}\right)(2^{\frac{1}{P}})\left[\underline{G}_1 - \underline{G}_2)^P\right]^{\frac{1}{P}} = \left(\frac{\sqrt[P]{2}}{\sqrt[P]{2}}\right)\left|\underline{G}_1 - \underline{G}_2\right| = \left|\underline{G}_1 - \underline{G}_2\right| \quad (۸)$$

اعداد خاکستری بازه ای

اعداد خاکستری را که دارای کران پایین $\underline{a}$ و کران بالای $\overline{a}$ هستند، اعداد خاکستری بازه ای می‌نامند و به شکل $\otimes G \in \left[\underline{a}, \overline{a}\right]$ نشان می‌دهند. هرچند که به نظر می‌رسد اعداد خاکستری مشابه اعداد فازی‌اند، تفاوت اساسی بین اعداد خاکستری و اعداد فازی آن است که در اعداد خاکستری، مقدار دقیق عدد، نامشخص است، ولی بازه‌ای که مقدار آن عدد را دربر می‌گیرد معلوم است. به تعبیر دیگر، مقدار دقیق بال چپ و راست عدد، معلوم است؛ در حالیکه در یک عدد فازی، ضمن اینکه عدد بصورت یک بازه تعریف می‌شود، ولی مقدار دقیق بال چپ

و راست عدد، معلوم نیست و از یک تابع عضویت تبعیت می‌کند همین تفاوت ظریف بین عدد خاکستری و عدد فازی موجب می‌شود که محاسبات با اعداد خاکستری از سادگی بیشتری نسبت به اعداد فازی برخوردار باشد؛ زیرا تعیین تابع عضویت برای بال های چپ و راست یک عدد فازی، خود همراه با پیچیدگی‌ها و عملیات محسباتی است (تقوی فرد و ملک، ۱۳۹۰).

عملکرد خاکستری

امروزه، تئوری سیستم خاکستری در پنج حوزهٔ ارزیابی، مدل‌سازی، پیش بینی، تصمیم‌گیری و کنترل قابل دسته‌بندی است. درجه امکان خاکستری یکی از روش‌های مطرح این تئوری در حوزهٔ تصمیم‌گیری است. برای دو عدد خاکستری $\otimes G_1 = \left[\underline{a}_1 \overline{a_1}\right]$ و $\otimes G_2 = \left[\underline{a}_2 \overline{a_2}\right]$ بافرض اینکه $\underline{a}_1 < \overline{a_1}$ و $\underline{a}_2 < \overline{a_2}$ باشد، درجهٔ امکان (احتمال) $\otimes G_1 \le \otimes G_2$ را از رابطه زیر تعریف می کنیم:

(۹)

$$p\left\{\oplus G_1 \le \otimes G_2\right\} = \frac{\max(0, L^* - \max(0, \overline{a}_1 - \underline{a}_2)}{L^*}$$

$p\left\{\oplus G_1 \le \otimes G_2\right\}$ را درجه امکان خاکستری گویند، در این رابطه، L^* از رابطه زیر محاسبه می شود:

(۱۰)

$$L^* = L(\otimes G_1) + L(\otimes G_2)$$

منظور از $L(\otimes G_1)$ طول عدد خاکستری $\oplus G_1$ که از روابطه ۱۱ و ۱۲ تعریف می شود:

(۱۱)

$$L_1 = L(\otimes G_1) = \overline{a_1} - \underline{a_1}$$

(۱۲)

$$L_2 = L(\otimes G_2) = \overline{a_2} - \underline{a_2}$$

در برابر اعداد حقیقی، باتوجه به وضعیت اعداد خاکستری $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ نسبت به هم، چهار حالت بین موقعیت‌های دو عدد خاکستری $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ متصور است.

اگر $\underline{a}_1 = \underline{a}_2$ و $\overline{a_1} = \overline{a_2}$ باشد، می توان گفت $\otimes G_1$ برابر با $\otimes G_2$ است که آن را بصورت $\otimes G_1 = \otimes G_2$ نشان داده می‌شود، در این صورت $p\left\{\otimes G_1 \le \otimes G_2\right\} = 0.5$ است.

اگر $\underline{a}_2 > \overline{a_1}$ باشد، آنگاه می توان گفت $\otimes G_2$ بزرگ تر از $\otimes G_1$ است که آن را بصورت $\otimes G_2 > \otimes G_1$ نشان داده می‌شود، دراین صورت $p\left\{\otimes G_1 \le \otimes G_2\right\} = 1$ است.

اگر $\overline{a_2} < \underline{a_1}$ باشد، آنگاه می توان گفت $\otimes G_2$ کوچک تر از $\otimes G_1$ است که آن را بصورت $\otimes G_1 > \otimes G_2$ نمایش داده می‌شود، در این صورت $p\left\{\otimes G_1 \le \otimes G_2\right\} = 0$ است (Deng, 1989).

تشریح گام‌های استفاده از تئوری سیستم‌های خاکستری

گام اول: تعیین وزن مؤلفه‌های مؤثر

فرض آنست که k تصمیم‌گیرنده وجود دارد، بنابراین وزن مؤلفه‌ها Q_j را می‌توان از طریق زیر محاسبه کرد:

$$\otimes w_j = \frac{1}{k}\left[\otimes w_j^1 + \otimes w_j^2 + ... + \otimes w_j^k\right]$$

(۱۳)

که در آن $\otimes w_j^k (j = 1, 2, ..., n)$ وزن مؤلفه j برای k امین تصمیم‌گیرنده است و می‌توان آن را با عدد خاکستری $\otimes w_j^k = \left[\underline{\alpha}_j^k \overline{\alpha}_j^k\right]$ نشان داد.

گام دوم: شامل استفاده از متغیرهای زبانی (مثل خیلی کن، کم، متوسط و خیلی زیاد) برای مشخص نمودن

مقدار مؤلفه‌ها. با توجه به این متغیرها، مقدار مؤلفه‌ها را می‌توان بصورت زیر برآورد نمود:

$$\otimes G_{ij} = \frac{1}{k}\left[\otimes G_{ij}^{1} + \otimes G_{ij}^{2} + ... + \otimes G_{ij}^{k}\right] \quad (۱۴)$$

که در آن $\otimes G_{ij}^{k}(i = 1, 2, ..., n;\ j = 1, 2, ..., n)$ مقدار مؤلفه ij برای kامین تصمیم‌گیرنده و می‌توان آن را با عدد خاکستری $\otimes G_{ij}^{k} = \left[\underline{\alpha}_{ij}^{k}, \bar{\alpha}_{ij}^{k}\right]$ نشان داد (Lin et al., 2007).

گام سوم: ایجاد ماتریس تصمیم خاکستری

$$D = \begin{bmatrix} \otimes G_{11} & \otimes G_{12} & \cdots & \otimes G_{1n} \\ \otimes G_{21} & \otimes G_{22} & \cdots & \otimes G_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \otimes G_{m1} & \otimes G_{m2} & \cdots & \otimes G_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۵)$$

که در آن $\otimes G$ها متغیرهای زبانی می‌باشند که به عدد خاکستری تبدیل شده‌اند.

گام چهارم: تعیین نرمال‌سازی ماتریس تصمیم خاکستری

$$D^{*} = \begin{bmatrix} \otimes G_{11}^{*} & \otimes G_{12}^{*} & \cdots & \otimes G_{1n}^{*} \\ \otimes G_{21}^{*} & \otimes G_{22}^{*} & \cdots & \otimes G_{2n}^{*} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \otimes G_{m1}^{*} & \otimes G_{m2}^{*} & \cdots & \otimes G_{mn}^{*} \end{bmatrix} \quad (۱۶)$$

که در آن برای هر کدام از مؤلفه‌های افزایشی $\otimes G_{ij}^{*}$ بصورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\otimes G_{ij}^{*} = \left[\frac{\underline{\alpha}_{ij}}{G_{j}^{\max}}, \frac{\bar{\alpha}_{ij}}{G_{j}^{\max}}\right] \quad (۱۷)$$

$$\otimes G_{j}^{\max} = \max_{1 \le i \le m}\left\{\bar{\alpha}_{ij}\right\}$$

برای هر کدام از مؤلفه‌های کاهشی $\otimes G_{ij}^{*}$ بصورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\otimes G_{ij}^{*} = \left[\frac{G_{j}^{\min}}{\bar{\alpha}_{ij}}, \frac{G_{j}^{\min}}{\underline{\alpha}_{ij}}\right]$$

$$\otimes G_{j}^{\min} = \max_{1 \le i \le m}\left\{\underline{\alpha}_{ij}\right\} \quad (۱۸)$$

گام پنجم: ایجاد ماتریس تصمیم وزنی هنجار شده

با فرض اهمیت متفاوت هر کدام از مؤلفه‌ها، ماتریس وزنی نرمالیزه شده بصورت زیر نمایش داده می‌شود (Deng, 1989):

$$D^{*} = \begin{bmatrix} \otimes N_{11} & \otimes N_{12} & \cdots & \otimes N_{1n} \\ \otimes N_{21} & \otimes N_{22} & \cdots & \otimes N_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \otimes N_{m1} & \otimes N_{m2} & \cdots & \otimes N_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۹)$$

که در آن، $\otimes N_{ij} = \otimes G_{ij}^{*} \times \otimes w_{j}$ می‌باشد.

گام ششم: انتخاب بهترین گزینه

برای m معیار مختلف $C = \{C_1, C_2, ..., C_m\}$، بهترین گزینه ممکن $M^{\max}\left\{\otimes G_{1}^{\max}, \otimes G_{2}^{\max}, ..., \otimes G_{n}^{\max}\right\}$ را می‌توان از طریق زیر برآورد کرد:

$$M^{\max} = \left\{\left[\max_{1 \le i \le m}\underline{a}_{i1}, \max_{1 \le i \le m}\bar{\alpha}_{i1}\right]\left[\max_{1 \le i \le m}\underline{a}_{i2}, \max_{1 \le i \le m}\bar{\alpha}_{i2}\right] ... \left[\max_{1 \le i \le m}\underline{a}_{in}, \max_{1 \le i \le m}\bar{\alpha}_{in}\right]\right\} \quad (۲۰)$$

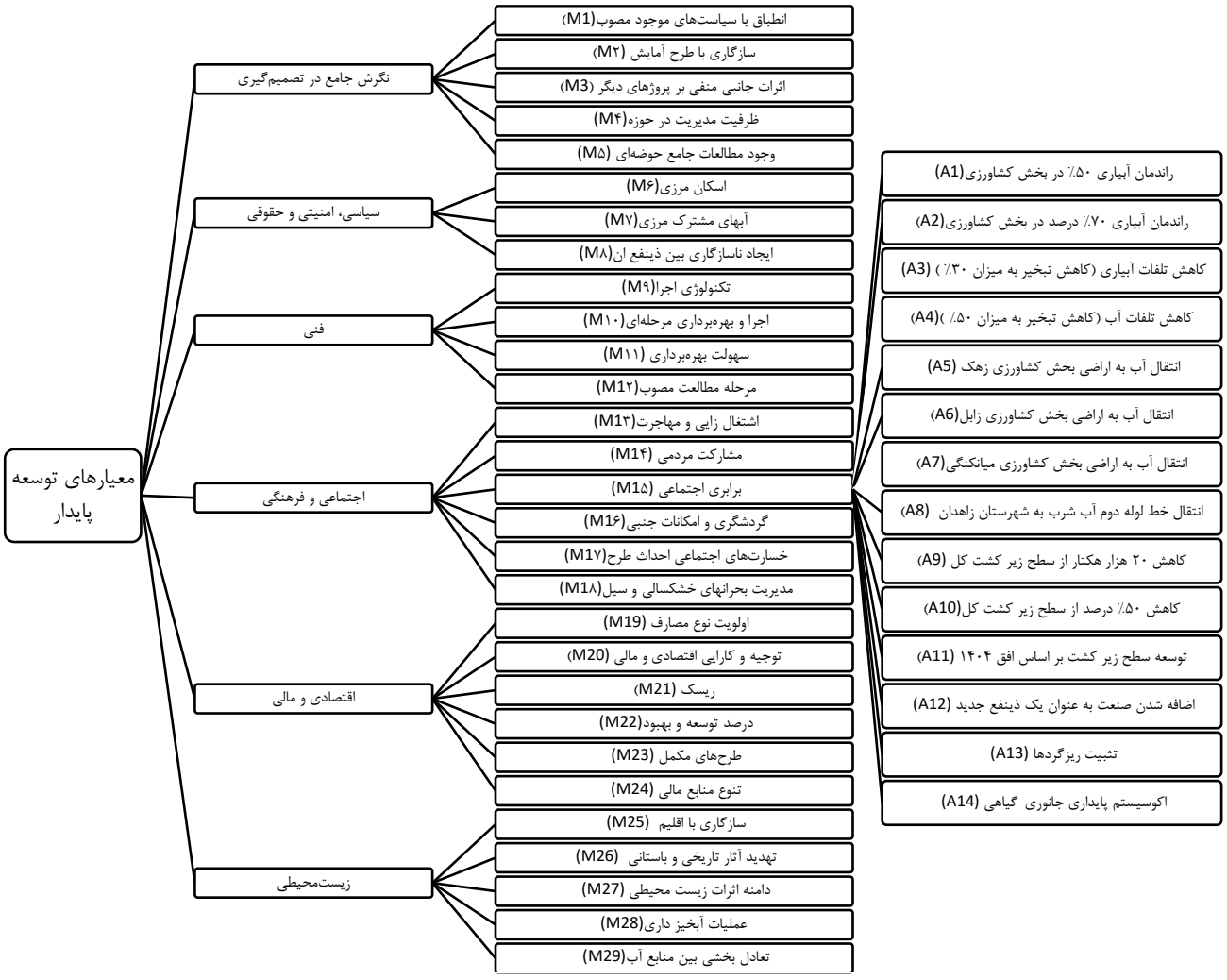
گام هفتم: محاسبه درجه امکان خاکستری

با استفاده از تساوی و رابطه (۹) برای گزینه‌های مختلف بصورت زیر نشان داده می‌شود (تقوی فرد و ملک، ۱۳۹۰):

$$P\left\{Mi \le M^{\max}\right\} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} P\left\{\otimes N_{ij} \le \otimes G_j^{\max}\right\} \quad (۲۱)$$

گام هشتم: رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف

هر چه درجه امکان خاکستری یک گزینه کوچکتر باشد، رتبه آن گزینه بهتر خواهد بود.



نمودار (۱): درخت تصمیم در پژوهش حاضر

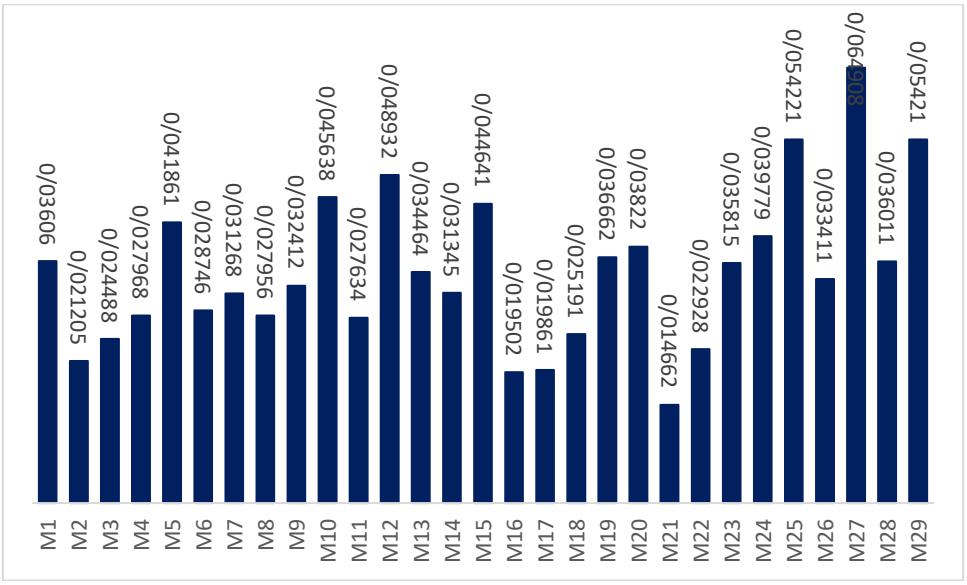
جهت تحقق هدف پژوهش از تکنیک پیشرفته خاکستری استفاده گردید. در این تکنیک برای اطلاعات مورد نیازمی بایست، از نظرات کاشناسان و خبرگان در طی چند مرحله استفاده شود. برای این منظور ابتدا پرسشنامه پیش ساخته تنظیم و معیارها و زیر معیارها بر اساس نظر کارشناسان و خبرگان مربوطه استخراج گردید. در نهایت با توجه خبرگان در این مطالعه به دو دسته کشاورزان و کارشناسان آب تقسیم بندی شدند و از هر کدام از هر دسته ۳۰ کارشناس و کشاورز خبره مشخص و پرسشنامه های مربوطه از آنها در سال ۱۴۰۰ جمع آوری شد. برای تحلیل و آنالیز اطلاعات نیز از نرم افزار MCDMSOLVER نسخه ۲۰۱۸ استفاده گردید.

نتایج و یافته‌ها

مطالعه حاضر براساس چهار رویکرد: ۱) مدیریتی ۲) اقتصادی ۳) اجتماعی ۴) زیست‌محیطی انجام شده است. شاخص‌های اقتصادی عبارتند از: تنوع مالی، توجیه و کارایی اقتصادی و مالی و ریسک؛ شاخص اجتماعی: اشغال زایی و مهاجرت، برابری اجتماعی، مدیریت بحرانه‌های خشکسالی و سیل و... شاخص فنی؛ تکنولوژی اجرا، سهولت بهره‌برداری، اجرا و بهره‌برداری مرحله‌ای و... شاخص زیست‌محیطی: سازگاری با اقلیم، دامنه اثرات زیست محیطی، تعادل بخشی بین منابع آب و... می‌باشد. نتایج تحقیق در جداول زیر بیان شده است

جدول (۱): ماتریس تصمیم با توجه به نظر کشاورزان

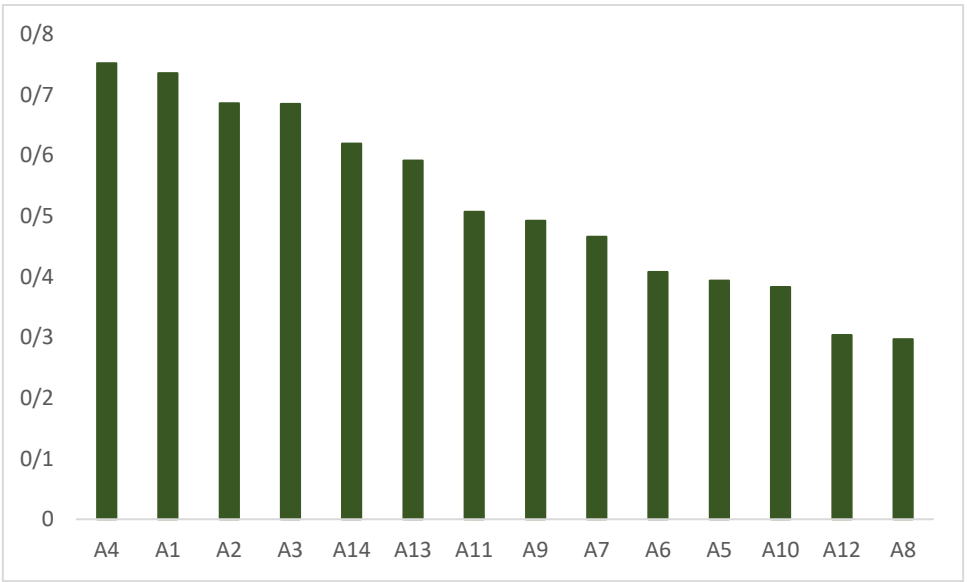
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
M1	۸	۷	۸	۸	۵	۴	۸	۱	۵	۵	۴	۱	۹	۸
M2	۷	۶	۷	۸	۶	۵	۶	۳	۶	۲	۵	۲	۸	۷
M3	۷	۶	۹	۵	۲	۶	۴	۲	۵	۷	۶	۳	۸	۷
M4	۴	۵	۵	۹	۵	۵	۷	۲	۷	۳	۷	۱	۷	۶
M5	۶	۶	۵	۷	۶	۵	۶	۱	۶	۱	۴	۲	۸	۷
M6	۷	۵	۶	۸	۵	۶	۵	۱	۵	۶	۵	۱	۴	۵
M7	۸	۹	۷	۷	۲	۵	۳	۲	۷	۵	۶	۲	۶	۶
M8	۵	۴	۸	۸	۵	۶	۵	۱	۶	۲	۵	۳	۷	۶
M9	۸	۹	۹	۸	۶	۴	۴	۳	۴	۴	۶	۱	۴	۸
M10	۷	۶	۶	۹	۲	۶	۳	۱	۴	۲	۵	۳	۷	۶
M11	۸	۷	۸	۷	۳	۵	۶	۱	۷	۳	۴	۴	۸	۶
M12	۹	۹	۸	۷	۵	۴	۸	۱	۶	۲	۵	۱	۳	۴
M13	۶	۵	۷	۸	۴	۵	۴	۲	۷	۲	۶	۲	۲	۸
M14	۸	۷	۶	۷	۳	۵	۳	۱	۶	۳	۶	۲	۵	۵
M15	۴	۸	۹	۸	۲	۴	۵	۱	۴	۵	۴	۱	۷	۶
M16	۷	۶	۷	۷	۴	۵	۶	۳	۶	۲	۶	۳	۵	۹
M17	۶	۵	۸	۵	۶	۵	۴	۲	۷	۳	۵	۲	۶	۶
M18	۹	۸	۶	۸	۵	۴	۵	۲	۵	۴	۴	۲	۵	۴
M19	۸	۸	۵	۶	۲	۵	۳	۲	۶	۴	۶	۱	۸	۷
M20	۸	۸	۷	۵	۳	۴	۵	۱	۴	۳	۴	۱	۵	۶
M21	۵	۵	۶	۸	۴	۶	۴	۳	۵	۵	۴	۳	۷	۷
M22	۵	۴	۸	۸	۳	۵	۴	۲	۶	۷	۵	۲	۵	۴
M23	۵	۵	۷	۸	۵	۱	۶	۲	۷	۵	۶	۱	۶	۷
M24	۸	۸	۵	۷	۲	۳	۴	۱	۶	۳	۶	۲	۵	۸
M25	۷	۸	۷	۶	۴	۲	۴	۱	۵	۱	۶	۱	۳	۷
M26	۸	۷	۶	۹	۳	۱	۶	۲	۵	۵	۴	۳	۷	۶
M27	۶	۵	۶	۸	۲	۲	۱	۲	۱	۲	۷	۱	۵	۵
M28	۸	۷	۶	۴	۱	۳	۵	۱	۴	۴	۶	۳	۴	۶
M29	۹	۷	۷	۴	۵	۱	۶	۲	۱	۵	۷	۱	۸	۱



نمودار (۲): وزن دهی معیارها بر اساس نظر کشاورزان

بر اساس نظر کشاورزان معیار دامنه اثرات زیست‌محیطی (M27) با وزن ۶۴۹٪ در اولویت اول، معیار تعادل بخشی بین منابع آبی (M29) با وزن ۵۴۲٪ در اولویت دوم، معیار سازگاری با اقلیم (M25) با وزن ۵۴۲۲٪ در اولویت سوم، و مرحله مطالعات مصوب با وزن ۴۸۹٪ در اولویت چهارم و معیار اجرا و بهرمبرداری مرحله‌ای (M10) در اولویت پنجم قرار گرفته‌اند. همچنین معیار ریسک (M21) با وزن ۱۴۶٪ در اولویت آخر قرار گرفته‌اند

.



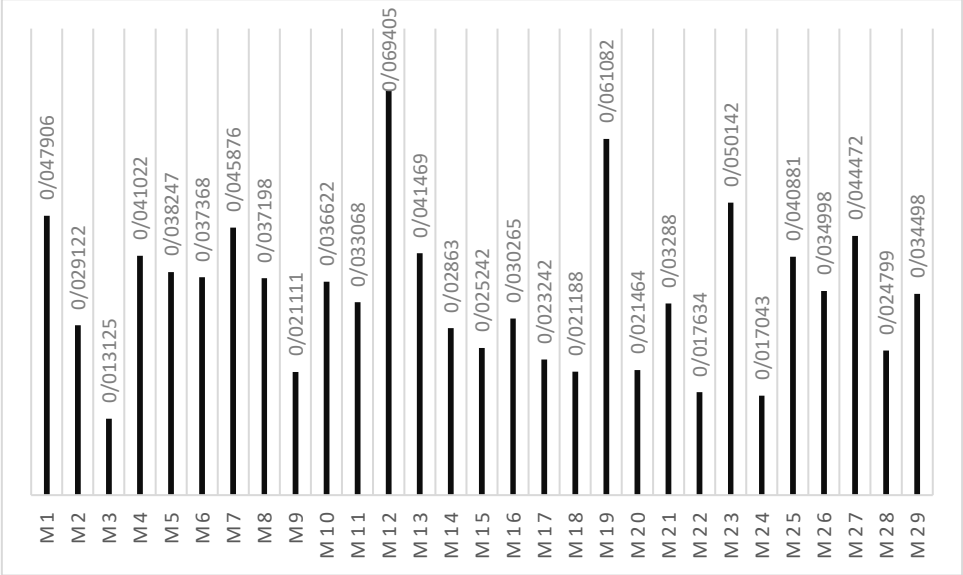
نمودار (۳): وزن دهی نهایی گزینه ها از نظر کشاورزان

بر اساس نظر کشاورزان کاهش تلفات آب (کاهش تبخیر به میزان ۵۰٪) (A4) با وزن ۷۵۲٪، راندمان آبیاری ۵۰درصد در بخش کشاورزی (A1) با وزن ۷۳۵٪، راندمان آبیاری ۷۰٪ در بخش کشاورزی (A2) با وزن ۶۸۶٪،

کاهش تلفات آب (A3) با وزن ۶۸۵٪ و اکوسیستم پایدار جانوری- گیاهی (A14) با وزن ۶۱۹٪ به ترتیب در رتبه‌های اول تا پنجم قرار گرفته‌اند. همچنین انتقال خط لوله دوم آب شرب به شهرستان زاهدان (A8) با وزن ۲۹۶٪ در رتبه آخر قرار گرفته‌اند.

جدول (۲): ماتریس تصمیم با توجه به نظر کارشناسان

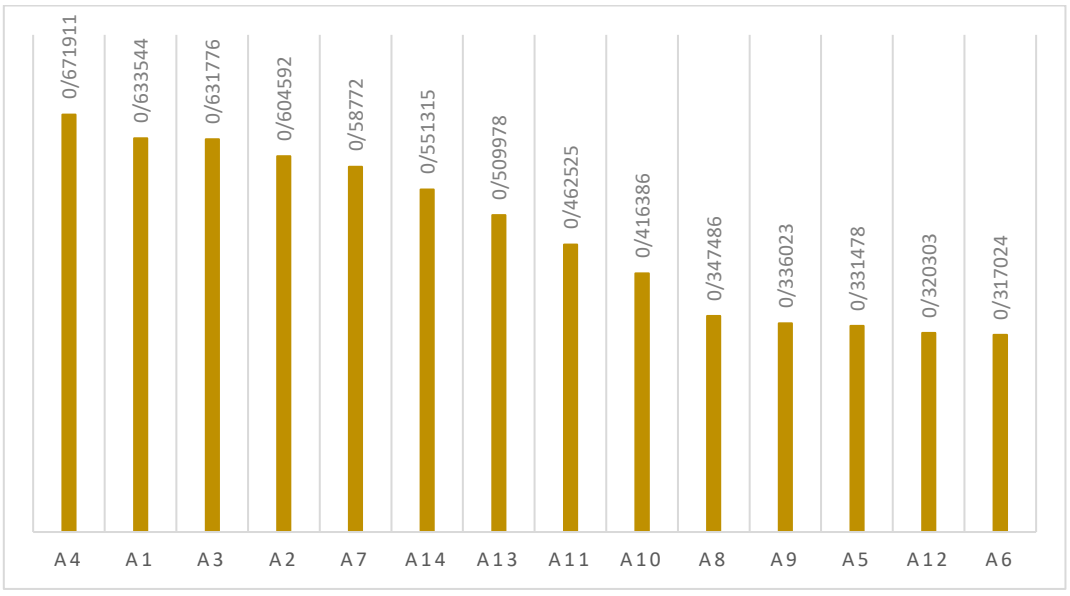
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
M1	۹	۹	۸	۷	۱	۲	۸	۱	۲	۵	۴	۱	۵	۶
M2	۵	۵	۶	۶	۳	۱	۶	۳	۴	۲	۲	۲	۷	۸
M3	۶	۶	۷	۶	۲	۳	۴	۵	۳	۷	۴	۳	۵	۴
M4	۵	۵	۶	۷	۱	۱	۷	۲	۳	۳	۹	۱	۶	۵
M5	۷	۶	۵	۷	۳	۲	۶	۱	۲	۱	۵	۲	۷	۸
M6	۸	۷	۶	۸	۲	۱	۵	۳	۴	۶	۷	۱	۲	۳
M7	۷	۶	۵	۶	۱	۱	۳	۲	۱	۵	۱	۲	۵	۶
M8	۱	۱	۳	۴	۴	۲	۵	۱	۲	۲	۴	۳	۶	۷
M9	۷	۸	۵	۷	۲	۳	۴	۵	۴	۴	۶	۱	۴	۴
M10	۳	۶	۷	۶	۱	۱	۳	۴	۳	۲	۱	۳	۵	۶
M11	۴	۶	۳	۶	۳	۱	۶	۱	۱	۳	۴	۴	۷	۶
M12	۹	۹	۷	۸	۱	۲	۸	۱	۳	۲	۱	۱	۲	۳
M13	۶	۵	۸	۵	۲	۴	۲	۲	۱	۲	۳	۲	۱	۲
M14	۷	۶	۴	۷	۳	۱	۳	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۳
M15	۶	۵	۷	۶	۴	۲	۵	۱	۴	۵	۶	۱	۴	۳
M16	۶	۷	۳	۶	۲	۴	۶	۳	۱	۲	۳	۳	۹	۵
M17	۶	۴	۵	۸	۱	۳	۱	۲	۲	۳	۴	۵	۶	۴
M18	۳	۲	۴	۳	۲	۲	۵	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۶
M19	۷	۶	۸	۹	۱	۱	۳	۴	۱	۴	۲	۱	۱	۵
M20	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۵	۱	۲	۳	۵	۱	۲	۳
M21	۷	۴	۶	۸	۲	۱	۴	۵	۳	۵	۲	۳	۴	۱
M22	۳	۶	۷	۴	۴	۲	۷	۳	۴	۷	۵	۲	۳	۵
M23	۴	۳	۸	۴	۲	۱	۶	۲	۱	۵	۲	۱	۱	۶
M24	۲	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۱	۲	۳	۳	۲	۵	۵
M25	۵	۶	۷	۵	۱	۲	۸	۶	۴	۱	۲	۱	۴	۳
M26	۸	۶	۴	۴	۳	۱	۸	۳	۲	۵	۱	۳	۷	۷
M27	۳	۵	۴	۸	۲	۲	۱	۲	۱	۲	۵	۱	۵	۲
M28	۴	۴	۳	۴	۱	۳	۵	۱	۲	۴	۷	۳	۶	۴
M29	۵	۳	۳	۴	۵	۱	۹	۳	۳	۵	۹	۱	۷	۸



نمودار (۴): وزن دهی معیارها بر اساس نظر کارشناسان

مشـــترک و مرزی (M7) با وزن ۴۵۸٪، به ترتیب دارای اولویت اول تا پنجم می‌باشند. همچنین معیار اثرات جانبی منفی بر پروژهای دیگر (M3) با وزن ۱۳۱٪، در اولویت آخر قرار گرفته است.

از دید کارشناسان معیارهای، مرحله مطالعات مصوب (M12) با وزن ۶۹۴٪، اولویت نوع مصـارف (M19) با وزن ۶۱۰٪، طرحهای مکمل (M23) با وزن ۵۰۱٪، انطباق با سیساستهای موجود مصوب (M1) با وزن ۴۷۹٪، آبهای



نمودار (۵): وزن دهی گزینه‌ها بر اساس نظر کارشناسان

از نظر کارشـــناســـان گزینه‌های کاهش تلفات آب (کاهش تبخیر بـه میزان ۵۰٪) (A4) بـا وزن ۶۷۱٪، در رتبه اول، راندمان آبیاری ۵۰ درصـد در بخش کشـاورزی (A1) با وزن۶۳۳٪ در رتبه دوم، کاهش تلفات آب (کاهش تبخیر به میزان ۳۰٪) (A3) با وزن ۶۳۱٪ در رتبه سـوم، راندمان آبی ۷۰درصـد در بخش کشـاورزی (A2) با وزن

٪۶۰۴ در رتبه چهارم و انتقال آب به اراضی بخش کشاورزی میانکنگی (A7) با وزن ٪۵۸۷ در رتبه پنجم قرار گرفته‌اند. همچنین گزینه انتقال آب به اراضی بخش کشاورزی زابل (A6) با وزن ٪۳۱۷در رتبه آخر قرار گرفته است.

پیشنهادها

بر اساس نتایج بدست آمده، با توجه به نیاز آبی بالای منطقه سیستان در قسمت‌های مختلف از جمله بخش کشاورزی و شرب و تالاب بین المللی هامون و همچنین خشکسالی‌های متوالی و خساراتی که این خشکسالی‌ها به مردم این منطقه وارد کرده است، جهت بهبود این شرایط مدیریت یکپارچه منابع آب برای این منطقه لازم و ضروری می‌باشد. بر این اساس پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- باتوجه به اینکه معیشت مردم سیستان به کشاورزی وابسته می‌باشد و همچنین بیشترین درصد استفاده از منابع آب را بخش کشاورزی به خود اختصاص داده است، پیشنهاد می‌گردد که از تجربه‌های کشاورزان پیشرو در منطقه در زمینه کشاورزی استفاده شود.
- باتوجه به اینکه در منطقه سیستان برنامه‌ی جامعه‌ای برای بهره‌برداری از منابع آب در شرایط خشکسالی وجود ندارد، پیشنهاد می‌گردد که برنامه‌های جامع و سیاستگذاری‌های بلندمدت درجهت تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب تدوین گردد و نتایج این تحقیق مورد توجه برنامه ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد.
- با توجه به کم بود منابع آبی در این منطقه پیشنهاد می‌گردد از روش‌های نوین آبیاری برای مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب استفاده شود.
- پیشنهاد می‌گردد نقش آموزش و مشارکت مردمی در بهره‌برداری از منابع آب بیشتر شود
- .

منابع

بابایی، م، قادری، ر، بدراق نژاد، ا، آزادفلاح، ز. ۱۳۹۶. شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر خشک شدن آب دریاچه ارومیه براساس مدل دلفی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دهم، شماره ۳۵.

برشنده، سجاد، شمسایی، ا، علیمحمدی، س. ۱۳۹۱. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت یکپارچه منابع آب غرب دریاچه ارومیه، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.

تقوی فرد، م، ملک، ا. ۱۳۹۰. استفاده از روش تصمیم‌گیری خاکستری به منظور رتبه بندی شاخص های کلیدی عمل کر و افزایش اثر بخشی برنامع های استراتژیک، فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال نهم، شماره ۲۲، ص ۱۶۵-۱۳۵.

دحمیاری، ع، غنیان، م، قوچانی، ا، زارعی، ح. ۱۳۹۴. فرآیند بکارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی اجرای طرح‌های توسعه منابع آب منطقه روستایی استان خوزستان، نشریه آب و توسعه پایدار،۱(۳)، ۹-۱۳.

زارع‌پور، ز، قدیمی، ع. ۱۳۸۵. ارزش‌گذاری آب و مدیریت یکپارچه منابع آب، چهارمین همایش تبادل تجربه‌های پژوهشی، فنی و مهندسی.

سردارشهرکی، ع، شهرکی، ج، هاشمی منفرد، آ. ۱۳۹۵. بررسی رویکردهای مدیریت بهربرداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسه مراتبی فازی، پژوهش‌های مدیریت عمومی، سال نهم، شماره سی و یکم، ص ۹۸-۷۳.

ضرغامی، م، احسانی، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره طرح‌های توسعه منابع آب ، سومین کنفرانس مدیریت یکپارچه منابع آب ایران دانشگاه تبریز.

میان‌آبادی، ح، افشار، ع. ۱۳۸۵. کاربرد تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) در تامین آب شهری شهر زاهدان، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، صفحه ۸.

نصرالهی ،ز، زارعی، م. ۱۳۹۵. اولویت بندی فعالیتهای صنعتی استان یزد با تاکید بر اهمیت منابع آب تلفیق مدل دادخ- ستاده و فرایند تحلیل سلسله مراتبی ، فصلنامه پژوهشی اقتصادی ایران، سال بیست ودوم، شماره ۱۷۱، ص ۶۴-۲۷

نوحه‌گر، ا، طیبی، ا، رسول، م. ۱۳۹۳. اولویت‌بندی منابع آب شهری در شرایط خشک‌سالی با کاربردهای دلهای تصمیم‌گیری چندمعیاره(مطالعه موردی: شهر بندرعباس)، دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک وکویری سمنان.

AliAhmadi, N., Moradi, E., Hosseni, S.M., Sardar Shahraki, A. 2021. forecasting the best time series model of climatic parameters in Hirmand catchment, Journal of Climate Research, 1400(47): 83-100.

Boddu, M., Gaayam, T., Annamdas, VGM. 2011. A review on Inter basin transfer of Water IPWE 2011. In: Proc. Of 4th International Perspective on Water Resources & the Environment, National University of Singapore (NUS), Singapore. Session on: Inter basin Transfer of Water Bruk S Inter basin water transfer. Conference report. Journal of Water Policy 3:167–169.

Dang, Y., Liu, S., and Mi, C. 2006. Multi-attribute grey incidence decision model for interval number. Kybernetes 35, 1265-1272.

Deng. J. L, The introduction of grey system, The Journal of Grey System, 1 (1) (1989) 1-24

Feng, J.L., Duane, Z.G., Zhang, JL. 2007. Assessing the impact of south to north water transfer project with decision support systems. Journal decision support system 42 (4): 1989 – 2003

Ghafari Moghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., Sardar Shahraki, A. 2021. An Analysis of the Water Crisis under Different Scenarios in the Agriculture Sector of Sistan Region: the Approach of Future Studies, Journal of Water Research in Agriculture, 35(2): 201-216.

Ghaffari Moghadam, Z., HashemiTabar, M., Sardar Shahraki, A. 2022. Economic Model for Optimal Allocation of Water Resources with an Emphasis on Risk and Consistency Index in the Sistan Region: The Application of Interval Two-Stage Stochastic Programming Method, Environmental Energy and Economic Research, 6(3): 1-13.

Ghaffari Moghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., Sardar Shahraki, A. 2022. Optimal Allocation of Water Resources in the Agricultural Sector by Using The Stackelberg-Nash-Cournot Model and emphasis on water market (Case Study: Sistan Plain Pipe Water Transfer Project), Iranian journal of Ecohydrology, 9(1): 273-289.

Human Development Resource Office. 2007. 20th anniversary edition published for the United Nations development of economics, No22:1-24.

Islar. M., Boda. C. 2014. Political ecology of inter basin water transfers in Turkish governance, Journal of Ecology and society, 19 (4):15, 8.

Khairi, M., Safdari, M., Sardar Shahraki, A. 2022. An Integrated Investigation into the Socioeconomic Factors Threatening Crop Marketing: A Comparative Study on Faryab Province of Afghanistan and the Sistan Region of Iran, Environmental Energy and Economic Research, 6(2): 1-20.

Kiani Ghalehsard, S., Shahraki, J., Akbari, A., Sardar Shahraki, A. 2021. Assessment of the impacts of climate change and variability on water resources and use, food security, and economic welfare in Iran, Environment, Development and Sustainability, 23(10): 14666-14682.

Lin, Y.H., Lee, P.C., Chang, T.P., Ting, H.I. 2007. Multi-attribute group decision making model under the condition of uncertain information. Automation in Construction, 17 (6): 792-797

Maknoon, R., Kazeme, M., Hasanzadeh, M. 2012. Inter basin water transfer progestin economic efficiency of the project, case study: Dez to Qomrod Inter basin water Trans mission Project (Iran), Journal of Water Resource and Protection.

Sardar Shahraki A., Javad Shahraki, J., Hashemi Monfared, S.A. 2016. Ranking and Level of Development According to the Agricultural Indices, Case Study: Sistan Region. International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD), 6 (1), 93-100

Sardar Shahraki, A., Karim MH. 2018. The Economic Efficiency Trend of Date Orchards in Saravan County. Iranian Economic Review. 22(4): 1093-1112.

Sardar Shahraki, A., Shahraki, J., Hashemi Monfared SA. 2018. An integrated Fuzzy multi-criteria decision-making method combined with the WEAP model for prioritizing agricultural development, case study: Hirmand Catchment, ECOPERSIA, 6(4): 205-214.

Shahraki, J., Yaghoubi, M., Sardar Shahraki, A., Esfandiari M. 2012. A Survey on the Level of Mechanization Development in Sistan and Baluchestan, Iran, Journal of Applied Sciences Research, 8: 2267-2271.

Vonk, E, Xu, Y.P., Booij, M.J., Zhang, X. Augustijn, D,C,M. (2014). Adapting Multi reservoir Operation to Shifting Patterns of Water Supply and Demand a Case Study for the Xinanjiang-Fuchunjiang Reservoir Cascade, Water Resour Manage 28:625–643.

Yaqob Y, Al-Sa`Ed, r, Sorial g, Sudian, M. 2015. Simulation of transboundary wastewater resource management scenarios in the Wadi Zomer watershed, using a WEAP model, International Journal of Basic and Applied Sciences, 4 (1): 27-35.