



Research Paper

Sustainable Groundwater Management Scenarios: Case Study of the Upper Karkheh Basin

Fatemeh Sepahvand^a, Karim Naderi mahdei^{a*} , Saeed Gholamrezaei^b, Masoud Bijani^c

^a Department of Agricultural Extension and Education, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

^b Department of Agricultural Economics and Rural Development, College of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.

^c Department of Agricultural Extension and Education, College of Agriculture, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 22 October 2024

Revised: 01 February 2025

Accepted: 03 February 2025

Keywords:

Foresight

Scenario development

Upper Karkheh basin

Strategy

Sustainable groundwater management

ABSTRACT

Groundwater resources consist of multiple subsystems that are constantly evolving, and these changes will undoubtedly continue in the future, affecting the status of water resources. Therefore, management can only be successful in this system if it simultaneously considers the various dimensions and their impacts. In this context, foresight provides the opportunity to evaluate different aspects of issues and analyze the interconnections among all dimensions of the system at the same time. Accordingly, this study adopts a foresight approach with an emphasis on social and human aspects to provide a novel perspective on sustainable groundwater management. The present research is applied and cross-sectional and employs foresight techniques, including driver analysis and scenario development, to examine the objectives, making it a forward-looking and normative study. The study population includes water resource management experts in the agricultural sector in the study area. The results indicate that nine scenarios exist in the study region, which require serious planning to select the most optimal scenario. Attention must be given to key areas such as the development of rural infrastructure, water pricing, and the promotion of small and micro-enterprises to reduce pressure on the agricultural sector, while simultaneously implementing watershed management projects. Overall, the findings demonstrate that achieving sustainable groundwater management cannot be accomplished through a single-dimensional approach, and it is necessary to simultaneously consider the influence and interdependence of all subsystems.

*Corresponding author Assistant Professor of Agricultural Extension and Education, Department of Agricultural Extension and Education, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

E-mail address: knadery@basu.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/iaeej.2025.226315>

1. Introduction

Sustainable groundwater management entails a perspective that goes “beyond the aquifer,” creating a framework in which all relevant linkages—including basin management, agricultural conditions, the environment, and stakeholder participation—are considered. It encompasses a set of diverse yet unified actions, such as balancing supply and demand, implementing effective monitoring measures, optimizing stakeholder water use, and improving water governance structures. Groundwater subsystems are inherently dynamic and constantly changing, and these changes will continue to affect water resources in the future. Given the complex and dynamic nature of water systems, the effects of interventions cannot be fully or precisely identified in the short or long term. Effective sustainable water management requires methods that reduce uncertainties and address system complexities, which necessitates scenario development and the exploration of possible and probable futures. Iran, in addition to having a dry and fragile climate, holds a small share of the world’s freshwater resources. The decline of water resources in recent years has accelerated, with approximately 404 out of 609 plains experiencing overexploitation. Although national-level regulations and directives have been enacted for the protection and management of groundwater resources, current conditions indicate that these laws have not succeeded. While part of the water scarcity problem is due to climate conditions and recent droughts, evidence shows that if this trend continues, significant challenges will arise. Therefore, formulating medium- and long-term water resource management plans is essential, which requires assessing the current situation, anticipating future scenarios, and identifying the relevant actors. In this context, the primary objective of this study is to develop scenarios for sustainable groundwater management in the agricultural sector of the Upper Karkheh Basin, using a foresight-based approach.

2. Methodology

In the context of scenario development, two major foresight schools exist: the Shell School (from the 1960s to the 21st century) and the La Prospective School (from the 1970s to the present). This study was conducted within the framework of the La Prospective School, which is also referred to in some studies as the Godet model. This approach uses structural analysis to examine driving forces and develops scenarios based on them. It provides a standardized framework for analyzing all future-related concepts. Key features of this school include a general framework, a normative approach, and a primary reliance on quantitative, expert-driven methods for scenario development. In this research, the Ostrom framework was employed to examine the sustainability of groundwater resources. In this model, the sustainability of any concept is analyzed as a system composed of multiple interacting subsystems, encompassing social, economic, environmental, and technological dimensions. Additionally, two dimensions related to supply and demand were incorporated to complete the concept. While the original model does not limit the number of participating experts, it emphasizes fewer but highly specialized individuals. Accordingly, this study involved a sample of eleven expert specialists.

3. Results

Scenario One has the highest number of desirable potential conditions, with all eight components in a favorable state. This scenario represents the most desirable future for the Kerkeh-olya basin, where sustainable groundwater management will be achieved. Scenario Two has seven desirable potential conditions and one condition in a growing state, representing 87.5% favorable and 12.5% growing conditions. Like the previous scenario, it is considered favorable as it contains no critical components; the only difference is that infrastructure development in deprived areas is in a growing state. Scenario Three includes five desirable conditions and three in a growing state, representing 62.5% favorable and 37.5% growing conditions. Although three components—awareness of water scarcity, a somewhat uncoordinated system with cooperative efforts, and the continued recruitment of experts and officials—are in a growing state, the scenario is still considered desirable because the other components are favorable. Scenario Four has four favorable and four growing conditions, a 50-50 distribution, combining aspects of Scenarios Two and Three, and is also regarded as favorable. Scenario Five has seven favorable conditions and one on the verge of crisis, with 87.5% favorable and 12.5% near-crisis conditions. The near-crisis component relates to integrated basin management, where basin management occurs within political boundaries; nevertheless, the scenario remains favorable. Scenario

Six has six favorable conditions, one growing, and one near-crisis, totaling 75% favorable and 25% combined growing and near-crisis conditions. This scenario also involves basin management within political boundaries, includes one growing component similar to Scenario Four, and is considered favorable, providing an ideal vision for the basin's future. Scenario Seven has two favorable conditions, four growing, and one critical, representing 37.5% favorable, 50% growing, and 12.5% critical conditions. The critical component is that accessible irrigation water remains almost free, and the growing components include top-down centralized management ignoring local participation, recruitment of experts as usual, an uncoordinated system with cooperative efforts, and increasing awareness of water scarcity; this scenario is intermediate, neither ideal nor critical. Scenario Eight has two favorable conditions, five growing, and one critical, representing 25% favorable, 62.5% growing, and 12.5% critical conditions. It is also classified as intermediate, with the critical component being the continued distribution of irrigation water at minimal cost. The growing components include top-down centralized management, ongoing recruitment practices, an uncoordinated but cooperative system, increasing awareness of water scarcity, and infrastructure development in deprived areas. Scenario Nine is the most critical scenario for the Kerkeh-olya basin, with only one favorable condition, three critical components—including lack of infrastructure prioritization, free or nearly free irrigation water, and absence of policies supporting non-agricultural entrepreneurship—and four growing components, representing 12.5% favorable, 50% growing, and 37.5% critical conditions.

4. Discussion

The results of analyzing the key drivers affecting sustainable groundwater management in the study area showed that there are eight critical drivers necessary for achieving sustainable groundwater management in the Kerkeh-olya basin. These drivers represent the main areas that should be prioritized in planning. Furthermore, based on the scenario development derived from these drivers, it was determined that there are nine compatible scenarios and 301 incompatible scenarios, with Scenario Nine being the most critical, featuring 12.5% favorable potential conditions, 25% near-crisis conditions, 62.5% critical conditions, and a volumetric weight of 494. Overall, the results indicate that if the first four scenarios are realized, the study community will be in a favorable situation and groundwater resources will remain sustainable, making these scenarios the most stable for the region. Considering sustainability across five dimensions—economic, social, environmental, policy, and technological—these scenarios position all strategies in an optimal state. Scenarios Seven, Eight, and Nine, due to the presence of critical strategies, are classified as intermediate or critical scenarios, implying that if any of these occur, sustainable groundwater management will not be achieved and the system will face significant challenges. Among these, Scenario Nine is considered the most unstable and critical, as it includes three critical strategies: water is distributed freely under current practices (policy imbalance), rural communities face infrastructural challenges, and no new employment opportunities are created, perpetuating unemployment and pressure on agriculture (economic imbalance). If Scenario Nine occurs, infrastructure development for attracting investment will not be prioritized (economic dimension), negatively affecting the performance of non-agricultural job creation in rural areas (economic dimension). Additionally, the failure to prioritize this strategy would hinder successful implementation of watershed management activities, further spreading instability throughout the system. Each critical strategy has cascading effects on other components, amplifying system-wide instability. Therefore, strategic measures must be developed that align with the eight key components, covering all critical areas effectively. In this stage, strategies were formulated based on the STEEP analytical framework across five domains—social, technological, economic, environmental, and political—fully aligned with the research findings. These strategies are described in detail in the following sections.

5. Conclusion

In conclusion, the study highlights that sustainable groundwater management in the Kerkeh-olya basin is a complex, multi-dimensional challenge that requires simultaneous attention to economic, social, environmental, technological, and policy-related factors. The analysis of key drivers and scenario development demonstrates that only certain combinations of conditions—represented by the first four scenarios—can ensure favorable and sustainable management outcomes, while scenarios with critical

or near-crisis elements, particularly Scenario Nine, pose significant risks to system stability. The findings emphasize the importance of prioritizing integrated strategies that address infrastructure development, efficient water allocation, employment generation, and watershed management, while maintaining stakeholder participation and effective governance. Ultimately, sustainable groundwater management cannot be achieved through isolated actions; it requires coordinated, proactive, and adaptive approaches that consider the interconnections among all subsystems, ensuring long-term resilience of water resources and the socio-economic well-being of rural communities.

سناریوهای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی؛ مورد مطالعه: حوضه کرخه‌علیا

فاطمه سپهوند^۱، کریم نادری مهدی^{۲*}، سعید غلامرضایی^۳ و مسعود بیژنی^۴

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱؛ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵)

چکیده

منابع آب از زیرسیستم‌های متعددی تشکیل شده است. این زیرسیستم‌ها همواره در حال تحول‌اند و بدون شک، این تغییرات در آینده نیز ادامه خواهد داشت و وضعیت منابع آب را تحت تأثیر قرار خواهند داد. بنابراین مدیریتی می‌تواند در این سیستم موفق باشد که به ابعاد مختلف و نیز تأثیرات آن‌ها توجه هم‌زمان داشته باشد. در این راستا، آینده‌نگاری این امکان را می‌دهد تا جنبه‌های مختلف مسائل ارزیابی گردد و ارتباط بین تمام ابعاد سیستم را هم‌زمان مورد تحلیل قرار دهد. در این راستا، این پژوهش بر آن است که با رویکرد آینده‌نگاری و با تأکید بر مسائل اجتماعی و انسانی، نگاهی نو به مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی داشته باشد. پژوهش حاضر از نوع تحقیقات کاربردی و مقطعی است که از تکنیک‌های آینده‌نگاری از جمله تحلیل پیش‌ران‌ها و سناریونویسی برای بررسی هدف، استفاده کرده است، به همین دلیل از نوع تحقیقات آینده‌گرا و هنجاری محسوب می‌شود. جامعه آماری این پژوهش شامل کارشناسان مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که ۹ سناریو پیش روی، منطقه مورد مطالعه وجود دارد که نیازمند برنامه‌ریزی جدی برای انتخاب مطلوب‌ترین سناریو است. در این راستا باید به حوزه‌های مهمی نظیر توسعه زیرساخت‌ها در جوامع روستایی، قیمت‌گذاری آب و توسعه مشاغل خرد و کوچک توجه ویژه شود تا فشار بر بخش کشاورزی کاهش یابد. هم‌زمان باید به اجرای طرح‌های آبخیزداری نیز توجه گردد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که تحقق مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی هیچ‌گاه به صورت تک‌بعدی محقق نخواهد شد و لازم است تأثیرگذاری و تأثیرپذیری تمام زیرسیستم‌ها به صورت هم‌زمان مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آینده‌نگاری، تدوین سناریو، حوضه کرخه‌علیا، راهبرد، مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی.

^۱ دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

^۲ استاد گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

^۳ دانشیار گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

^۴ دانشیار، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین به شمار می‌روند، زیرا منبع اصلی آب بیش از ۲ میلیارد نفر در سراسر جهان و تقریباً ۵۰ درصد از کل آب مورد استفاده در بخش کشاورزی، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، هستند. هم‌اکنون این منابع روبه کاهش هستند (Eckstein, 2017; Stone et al., 2020). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که عوامل زیادی از جمله عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاست‌گذاری و اقلیمی در کاهش منابع آب زیرزمینی دخیل‌اند. چنین برداشت می‌شود که بخش آب، ترکیبی از مسائل بسیار متفاوت در طبیعت و جامعه است (Olli et al., 2007). با توجه به این موارد، می‌توان چنین دریافت که منابع آب زیرزمینی نباید به‌صورت مجزا مدیریت شوند، بلکه باید به‌طور هم‌زمان با سایر برنامه‌های توسعه، هماهنگ شود تا به پایداری این منابع دست یافت (Wang et al., 2016).

از سوی دیگر سیستم آب (و آب‌های زیرزمینی) و مدیریت پایدار آن، همانند بسیاری از پدیده‌های طبیعی و اجتماعی از یک‌روند خطی و قطعی پیروی نمی‌کند، بلکه تحت تأثیر مؤلفه‌های طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و حتی سیاسی قرار دارد. به بیان دیگر، منابع آب، چه در سطح کلان همانند سطح یک حوضه آبریز بزرگ یا در سطح کوچک‌تر و محدود، مانند یک دشت، از زیرسیستم‌های متعدد تشکیل شده‌اند. در این سیستم، ابعاد در تعامل با یکدیگر هستند و نتایجی را ایجاد می‌کنند که به نوبه خود، بازخورد می‌دهد؛ بنابراین مدیریتی می‌تواند موفق باشد که تمام تعاملات را مد نظر قرار دهد (Ostrom, 2009).

در طی دهه‌های مختلف، به‌تناسب پارادایم‌های کلان توسعه، رویکردهای متفاوتی برای مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی وجود داشته است (Olli et al., 2007). در رویکردهای کلان توسعه، به مقوله آب توجه جدی شده است؛ به‌طوری‌که در دهه‌های اخیر در پارادایم پساتوسعه، رویکردهای مدیریت یکپارچه منابع آب و مدیریت منابع آب، انرژی و غذا از جمله رویکردهایی هستند که مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گرفته است (Zaman et al., 2017; Lukat et al., 2022). هم‌اکنون پژوهشگران و سیاست‌گذاران "مدیریت پایدار آب" را به‌عنوان گزینه مناسب برای کاهش چالش‌های حال و آینده منابع آب مطرح کرده‌اند (Iglesias & Garrote, 2015; Klaas et al., 2020).

مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی به معنای "تفکری فراتر از سفره آبخوان" است و دیدگاهی ایجاد می‌کند که در آن به تمام پیوندهای موجود از جمله "مدیریت حوضه"، "شرایط کشاورزی"، "محیط‌زیست" و "مشارکت ذی‌نفعان" مورد توجه قرار می‌گیرد (Jakeman et al., 2016). این مدیریت مجموعه‌ای از اقدامات مختلف ولی هم هدف است که ترکیبی از اقداماتی نظیر "تعادل عرضه و تقاضا"، "اجرای مؤثر اقدامات نظارتی"، "شیوه‌های مدیریت بهینه مصرف ذی‌نفعان" و "بهبود ساختارهای حاکمیت آب" را در بر دارد (Madhnure et al., 2015; Samani, 2020). از سوی دیگر زیرسیستم‌ها همواره در حال نوسان و تغییر هستند و بدون شک، این تغییرات در آینده نیز ادامه دارد و وضعیت منابع آب را تحت‌تأثیر قرار خواهند داد. با توجه به وضعیت پویای سیستم منابع آب و متغیرهای اثرگذار موجود در سیستم، اثرات به‌طور کامل و دقیق در کوتاه‌مدت یا درازمدت قابل‌شناسایی نخواهد بود (Stewart et al., 2008). در واقع، اعمال مدیریت پایدار منابع آب برای حل مشکلات و مسائل موجود، نیازمند به‌کارگیری روش‌های اثربخش است که از پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های ممکن بکاهد (Andersen & Rasmussen, 2014; Adams et al., 2018; Coelho et al., 2012); که این مستلزم تدوین سناریو و بررسی آینده‌های ممکن و محتمل می‌باشد.

کشور ایران علاوه بر دارا بودن اقلیم خشک و شکننده، سهم کمی از منابع آب شیرین جهان را داراست. روند کاهش منابع آب در طی چند سال گذشته در ایران سرعت بیشتری یافته است، به‌طوری‌که حدود ۴۰۴ دشت از ۶۰۹ دشت کشور، به‌عنوان دشت‌هایی هستند که از منابع آب آن‌ها بیش از حد برداشت شده است. این در شرایطی است که در سطوح کلان تصمیم‌گیری، همواره قوانین و بخشنامه‌هایی برای حراست و مدیریت منابع آب زیرزمینی در سطح کشور تدوین شده‌اند، اما شرایط کنونی این منابع حاکی از عدم موفقیت قوانین موجود است (Samani, 2020). اگرچه بخشی از مساله کم‌آبی ناشی از شرایط اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر می‌باشد، ولی شواهد نشان می‌دهد که در صورت ادامه این روند، قطعاً با مشکلات اساسی مواجه خواهیم شد. بنابراین تدوین برنامه مدیریت منابع آب برای برنامه‌های میان‌مدت و بلندمدت ضروری به نظر می‌رسد و برای این امر بایستی ضمن شناسایی وضعیت موجود، احتمالات آتی و کنشگران دخیل در این امر نیز مورد شناسایی و تحلیل

قرار گیرند. با توجه به موارد بیان شده، هدف اصلی این پژوهش، تدوین سناریوهای پیش روی مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی حوضه کرخه‌علیا می‌باشد. برای دستیابی به این هدف از رویکرد آینده‌نگاری استفاده شده است. حوضه آبریز کرخه‌علیا یکی از حوضه‌های فرعی کشور است که ۱۱ دشت را شامل می‌شود. علاوه بر خشکسالی‌های اخیر، برداشتهای بی‌رویه، سهم چشمگیری در کاهش این منابع داشته است؛ آمارها نشان می‌دهند که عمده مصرف منابع آب زیرزمینی در حوضه مذکور، در بخش کشاورزی است. از مجموع ۱۰۵۸ میلیون مترمکعب تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی استان لرستان، حدود ۷۱۰ میلیون مترمکعب در سال برای کشاورزی، ۱۰۰ میلیون مترمکعب برای مصارف شرب و ۴۰ میلیون مترمکعب برای مصارف صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این منطقه بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی، برای مصارف بخش کشاورزی انجام می‌شود؛ این در حالی است که این منطقه از نظر بهره‌وری منابع در شرایط مناسبی قرار ندارد. راندمان آبیاری در این حوضه بین ۲۸ تا ۳۶ درصد و بهره‌وری کلی آب محصول در حوضه، حدود نیم کیلوگرم بر مترمکعب است (Haghiabi & Mastorakis, 2009). نتیجه این شیوه بهره‌برداری، کاهش چشمگیر این منبع مهم بوده است. باتوجه به آمارها، مستندات و موارد بیان‌شده، در طی چند دهه اخیر کاهش قابل‌توجهی از حجم منابع آب زیرزمینی در حوضه کرخه‌علیا رخ داده است؛ به‌گونه‌ای که روند کاهش این منابع بیشتر از میانگین کشوری بوده است. این روند کاهش سطح منابع آب زیرزمینی در تمام دشتهای موجود در این حوضه بوده است؛ ولی دشتهای کوهدشت و رومشکان شرایط بحرانی‌تری را می‌گذرانند.

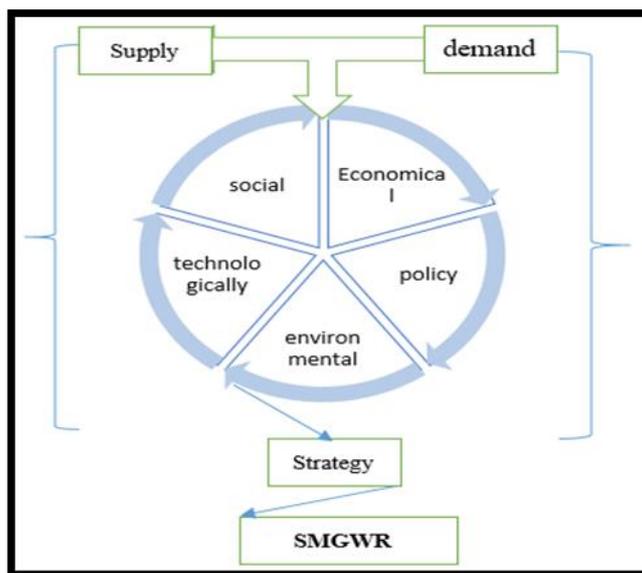
غفاری‌مقدم و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی بحران آب در بخش کشاورزی منطقه سیستان در سناریوهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، چندین سناریو تدوین شد. سناریوهای کشت بی‌رویه محصولات آب‌بر در حالت بدبینانه، رایگان بودن آب در بخش کشاورزی و خشکسالی در حالت محتمل و سایر پیش‌ران‌ها در وضعیت خوش‌بینانه قرار داشتند. وضعیت‌های خوش‌بینانه بر دیگر وضعیت‌ها برتری داشتند. رحمانی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی و انتخاب شاخص‌های ارزیابی مدیریت پایدار آب نشان دادند که ۶۶ شاخص با در نظر گرفتن مؤلفه‌های پایداری می‌توانند به‌عنوان مبنایی در ارزیابی برنامه‌های مدیریت آب در کشور مورد استفاده قرار گیرند. در مطالعه‌ای دیگر، حاتم‌خانی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل MODSIM و شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی، سناریوهای مختلفی برای مدیریت منابع در حوضه کرخه بررسی کردند. نتایج نشان داد که سناریو مشتمل بر توسعه سدهای در دست مطالعه و مصرف کم آب و پس از آن سناریوی توسعه سدهای در دست ساخت و مطالعه حوضه آبریز کرخه در شرایط مصرف آب میانه، به ترتیب بهترین سیاست‌ها برای برنامه‌ریزی در حوضه بر مبنای شاخص‌های در نظر گرفته شده هستند. بررسی پیش‌ران‌های مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی بیان می‌کند که استقرار بانک داده پاسخگوی منابع آب و ظرفیت اجتماعی و فرهنگی به‌عنوان پیش‌ران‌های تنظیم‌کننده در آینده مدیریت منابع آبی در بخش کشاورزی نقش مهمی را بر عهده دارند. بهشتی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی سناریوهای مدیریت منابع آب بر مبنای رویکرد آینده‌پژوهی پرداخته است. نتایج نشان داد که شکاف قابل توجهی تا تحقق اهداف بنیادین توسعه و دستیابی به سناریوهای مطلوب وجود دارد. اشرفی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای تحت عنوان عملکرد مدل WEAP در شبیه‌سازی هیدرولوژیک نشان دادند که نتایج شبیه‌سازی سناریوی تامین آب شرب منطقه از سد آق‌چای کاهش در افت سطح آب زیرزمینی و افزایش حجم آبخوان را دارد. ارزیابی اثرهای اقتصادی سناریوهای مدیریت منابع آب در حوضه آبریز پیشین بیان می‌کند که سرمایه‌گذاری در منطقه باید در اولویت قرار گیرد. کویینو و همکاران (Qin et al., 2019) در مطالعه‌ای با بررسی تجزیه‌وتحلیل سناریوهای مدیریت آب با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی و سیستم دینامیک انتقال آب از جنوب به شمال در منطقه دشت شمال چین نشان دادند که ۵ سناریو در راستای مدیریت منابع آب شناسایی شده که در آن‌ها تأثیر تغییرات آب‌وهوایی لحاظ شده است. مانزانوسولیس و همکاران (Manzano et al., 2019) در مطالعه‌ای با استفاده از تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های ساختاری برای مدیریت یکپارچه منابع آب، نشان دادند که با شناسایی ۴۹ متغیر مربوط به سیستم مدیریت آب ننتزینگو، با تحلیلی ساختاری، در نهایت ۲۲ متغیر کلیدی و اثرگذار در این رویکرد معرفی شده است. ماکاو (Mack, 2019) در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی کیفیت آب‌های سطحی اروپا در سه سناریو مختلف آینده به

سناریوهای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی؛ مورد مطالعه: حوضه کرخه علیا

بررسی تحولات احتمالی وضعیت آینده آب‌های سطحی اروپا و ارزیابی سناریوی اقلیمی کاربری زمین، مدیریت و تحولات جمعیتی پرداخته و تأکید بر لزوم اجرای اقدامات هدفمند برای کاهش اثرات انسانی دارد.

روش پژوهش

در راستای تدوین سناریو، دو مکتب عمده آینده‌نگارانه عبارتند از مکتب شل (شروع از دهه ۱۹۶۰ تا قرن ۲۱) و لاپراسپکتیو (شروع از دهه ۱۹۷۰ تا کنون) وجود دارد. این پژوهش در چارچوب مکتب لاپراسپکتیو انجام شده است که در برخی تحقیقات به الگوی گوده (Godet) نیز شهرت دارد. این الگو با بهره‌گیری تحلیل ساختاری به بررسی پیش‌ران‌های مؤثر می‌پردازد و بر اساس آن‌ها تدوین سناریو صورت می‌گیرد. این الگوی ثابت برای بررسی تمام مفاهیم در حوزه آینده مورد بررسی قرار می‌گیرد. ویژگی‌های این مکتب وجود چارچوب عام و رویکرد هنجاری است و عمدتاً با روش‌های کمی به تدوین سناریوها می‌پردازد و عمدتاً خبره‌محور هست (Godet & Durance, 2011). در این پژوهش برای بررسی مفهوم پایداری منابع آب زیرزمینی از الگوی استروم استفاده شد (نگاره ۱). در این الگو پایداری هر مفهومی در قالب یک سیستم باید مورد بررسی قرار گیرد که دارای زیرسیستم‌های متعددی است که بر یکدیگر تأثیر می‌گذارد. در این مدل، هر سیستم دارای جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی، محیط‌زیستی و فناوری است (Ostrom, 2009). همچنین این مفهوم با اضافه شدن دو بعد در حوزه عرضه و تقاضا تکمیل شد. بر اساس الگوی اصلی، محدودیتی برای تعداد کارشناسان شرکت‌کننده وجود ندارد، ولی تأکید بر تعداد کمتر ولی متخصص‌تر است. بر همین اساس، در این پژوهش از ۱۱ نفر از کارشناسان متخصص به‌عنوان نمونه استفاده شده است.



نگاره ۱- چارچوب مفهومی پژوهش

این پژوهش در سه فاز و به شرح زیر انجام شده است:
- فاز اول: در ابتدا با تکنیک دلفی به گردآوری اطلاعات اقدام شده است. فرایند به این صورت انجام شد که ابتدا با استفاده از تکنیک دلفی، اطلاعات پایه در مورد راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب در حوضه کرخه-علیا جمع‌آوری شد. هدف از انجام این تکنیک، ایجاد یک اجماع نظر بین متخصصان در مورد یک سؤال است (Niederberger & Spranger, 2020).
- فاز دوم: در مرحله دوم از تکنیک تحلیل تأثیر متقاطع (CIA) استفاده شد. محدودیت اساسی روش دلفی این است که آن‌ها فقط اطلاعات را به صورت مجزا تولید می‌کنند، به عبارت دیگر، رویدادها و روندها بدون در نظر گرفتن امکان آن‌ها بر یکدیگر پیش‌بینی می‌شوند. با این حال، اکثر رویدادها و تحولات به نوعی با یکدیگر مرتبط هستند. وابستگی‌های متقابل بین این

رویدادها و تحولات را می‌توان برای پیش‌بینی‌های منسجم‌تر و دقیق‌تر مورد توجه قرار داد. محبوب‌ترین روش مورد استفاده برای غلبه بر این نقص، تکنیک تأثیرات متقاطع است (Schlange & Juttner, 1997). تکنیک تأثیرات متقاطع (CIA)، به عنوان ابزاری برای آینده‌پژوهی، نقش مشخصه یک متغیر را در رابطه با سایر متغیرهای یک سیستم نشان می‌دهد و متغیرهایی را که نقش مهمی در توسعه سیستم در آینده ایفا می‌کنند، شناسایی می‌کند (Panula-Ontto *et al.*, 2018). متغیرهای انتخاب شده برای تأثیر متقابل آن‌ها در مقیاسی از ۰ (بدون تأثیر) تا ۳ (تأثیر مستقیم) امتیازدهی می‌شوند و متعاقباً، این یک ماتریس تأثیر نامتقارن ایجاد می‌کند که شامل روابط تأثیر بین همه جفت متغیرها است. در این فاز از نرم‌افزار میک‌مک (MIC-MAC) استفاده شده است.

- فاز سوم: در نهایت، بر اساس پیش‌بینی‌های حاصل شده در گام قبلی، به تدوین سناریو اقدام شد و در این راستا از نرم‌افزار سناریو ویزارد (Scenario Wizard) استفاده شد.

یافته‌ها و بحث

آمار توصیفی

نتایج نشان داد که ۴ نفر از مصاحبه‌شوندگان دارای تحصیلات کارشناسی‌ارشد و ۷ نفر دیگر دارای مدرک دکتری تخصصی بودند. همچنین نتایج نشان داد که کارشناسان عمدتاً از نهادهای دانشگاه، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، مدیریت بانک کشاورزی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان و اداره محیط‌زیست شهرستان کوه‌دشت انتخاب شدند.

نتایج فاز اول

در این بخش برای دستیابی به هدف پژوهش، مصاحبه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از تحلیل محتوا، تجزیه و تحلیل شدند. نتایج اولیه ۳۳۶ کد بود که موارد تکراری و مشابه حذف گردید و تعداد ۱۵۰ راهکار نهایی شد. سپس با استفاده از الگوی تحلیلی استپ (STEEP)، راهکارها دسته‌بندی شدند. این الگو عمدتاً در تحقیقات آینده‌پژوهی برای شناسایی نیروهای پیش‌ران و مؤثر به کار گرفته می‌شود، بدین معنا که سعی می‌شود تمام ابعاد مساله مورد تحلیل قرار گیرد تا شناختی جامع از موضوع حاصل گردد. در واقع هدف از تجزیه و تحلیل کلان محیطی (STEEP) این است که آنچه را که در محیط فعالیت می‌کند (و آنچه احتمالاً اتفاق می‌افتد) ثبت و تفسیر کند (Fisher *et al.*, 2020). در ادامه برای نهایی شدن راهکارهای مؤثر برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، بر اساس معیارهای زیر، ترکیب و ادغام شده و به خلاصه‌سازی مؤلفه‌ها اقدام گردید. این معیارها عبارت‌اند از:

- ۱- اهمیت راهکار در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی؛
- ۲- عدم قطعیت و پیچیدگی بالقوه‌ای که هر متغیر منفرد به کل سیستم می‌افزاید؛
- ۳- امکان ترکیب دو یا چند راهکار در یک راهکار واحد و
- ۴- حداکثر تنوع در رابط‌های مختلف (جدول ۱).

نتایج فاز دوم

در این فاز راهکارهای حاصل از فاز قبلی، وارد ماتریس تأثیرات متقاطع شدند و برای امتیازدهی مجدد، به مصاحبه‌شوندگان بازگردانده شدند. پس از تنظیم ماتریس تأثیرات متقاطع و گردآوری امتیازات، داده‌ها وارد نرم‌افزار میک‌مک (MIC-MAC) شدند. به این ترتیب به تعداد راهکارهای در دسترس، سطر و ستون در محیط اصلی نرم‌افزار ایجاد شد و اعداد به ترتیب هر راهکار، وارد نرم‌افزار شدند. در ادامه با استفاده از داده‌های موجود در این ماتریس، تحلیل داده‌ها شد. در گام دوم، به بررسی روایی پرسشنامه تأثیرات متقاطع اقدام شد. لازم به ذکر است که پایداری ماتریس که معادل روایی ماتریس می‌باشد، در حین

سناریوهای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی؛ مورد مطالعه: حوضه کرخه علیا

تحلیل مشخص می‌شود. در این پژوهش، بعد از ۲ بار چرخش، به عدد ۱۰۰ رسید و نشان‌دهنده روایی و پایداری مناسب است. این چرخش برای متغیرهای اثرگذار پس از چرخش اول، ۹۷٪ و برای متغیرهای تأثیرپذیر، ۱۰۰ درصد بوده است (جدول ۲).

جدول ۱- راهکارهای نهایی شده در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در منطقه حوضه کرخه علیا

ابعاد	راهکارها
فناورانه	ترویج و توسعه سیستم‌های نوین آبیاری تحت تعاونی‌های آب‌بران در منطقه (۸)
اجتماعی	توسعه مدیریت مشارکتی ذینفعان منابع آب (۱۲)، برگزاری دوره‌های مدیریت صحیح مزرعه برای مدیریت بهتر منابع آب در مزارع (۱۶)، توسعه نقش زنان در مدیریت منابع آب (۱۱)، توسعه دانش و آگاه‌سازی بهره‌برداران از مشکلات منطقه (۶)
سیاست‌گذاری	ارزش‌گذاری آب و حذف یارانه‌های آب (۴)، اعمال قانون برای بازارهای غیرقانونی آب (خرید و فروش آب، منع کشت اجاره‌ای و غیره) (۱۸)، اعمال مدیریت یکپارچه در حوزه کرخه علیا (۲)، فراهم نمودن بانک اطلاعات شفاف و دقیق از منطقه (۱۹)، تقویت ارتباط نهادهای مرتبط با آب (۷)، توسعه دانش کارشناسان و نخبه‌گزینی در ادارات (۱)، نظام زراعی کشت متناسب (۱۷)
محیط‌زیستی	اجرا فعالیت‌های آبخیزداری (۱۰)، توسعه جنگل‌کاری و احیای مناطق جنگلی (۱۵)
اقتصادی	حمایت مالی از بهره‌برداران برای تجهیز مزارع به سیستم نوین آبیاری (۱۴)، توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها (۲)، بسترسازی برای توسعه مشاغل غیر زراعی در جوامع روستایی (۵)، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای (۱۳)

جدول ۲- پایداری ماتریس تأثیرات متقاطع

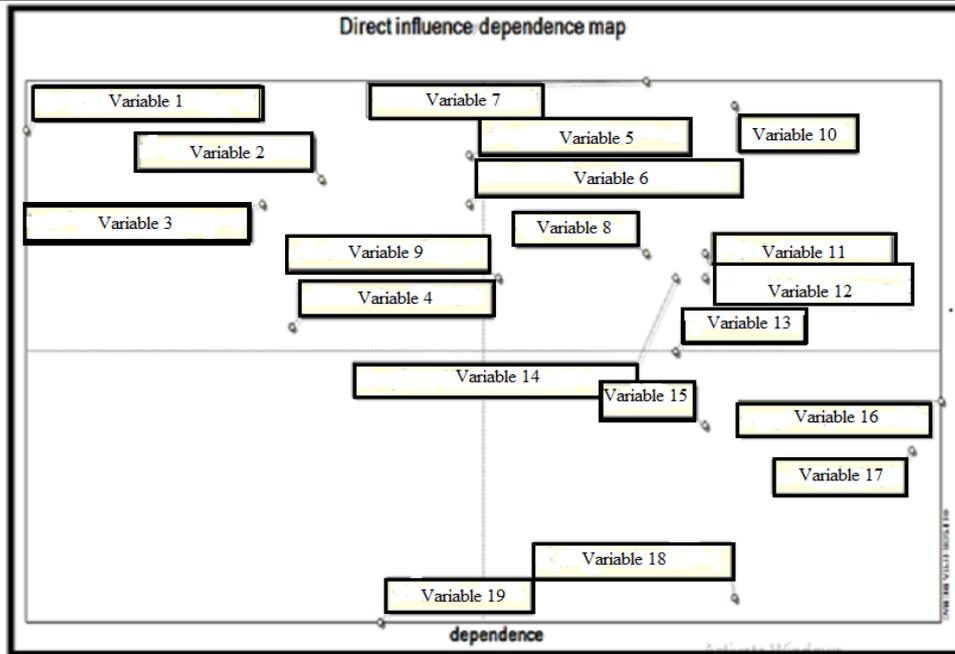
تکرار	متغیرهای اثرگذار	متغیرهای اثرپذیر
۱	۹۷٪	۹۸٪
۲	۹۸٪	۱۰۰٪

گزارش دوم در این فرایند، گزارش نرم‌افزار در مورد درصد پرشوندگی ماتریس است و در این پژوهش میزان درصد پرشوندگی کل ماتریس ۶۸/۱۴ درصد بوده است. در ماتریس تأثیرات متقاطع، اثرهای متقابل، جمع اعداد سطرها هر متغیر به‌عنوان میزان تأثیرپذیری و جمع ستونی هر متغیر میزان تأثیرگذاری آن را از متغیرهای دیگر نشان می‌دهد. در این ماتریس، از مجموع ۲۴۶ رابطه با ۱۹ متغیر، می‌توان درصد پرشوندگی ماتریس را این‌گونه بیان نمود که ۱۱۵ مورد ارزش "صفر" داشته‌اند، یعنی اصلاً بر یکدیگر اثر نداشته‌اند. ۱۰۷ مورد نیز ارزش "یک" به آن‌ها اختصاص یافت و به معنی اهمیت کم بوده است. همچنین ۹۹ مورد ارزش "دو" را دریافت کردند که نشان از اهمیت متوسط دارد. در نهایت، ۴۰ مورد در این تحلیل‌ها ارزش "سه" را به خود اختصاص دادند که نشان از اهمیت زیاد متغیر دارد (جدول ۳).

جدول ۳- شاخص‌های پرشوندگی ماتریس اثرات متقاطع

شاخص‌های پرشوندگی ماتریس	تعداد/درصد
اندازه ماتریس (تعداد سطر و ستون‌ها)	۱۹
تعداد تکرار	۲
تعداد امتیازات کسب‌شده ۰	۱۱۵
تعداد امتیازات کسب‌شده ۱	۱۰۷
تعداد امتیازات کسب‌شده ۲	۹۹
تعداد امتیازات کسب‌شده ۳	۴۰
درصد پرشوندگی ماتریس	۶۸/۱۴
جمع کل	۲۴۶

در این پژوهش، بر اساس خروجی سیستم که در نگاره ۲ نیز قابل مشاهده است، می‌توان "وضعیت ناپایداری سیستم" را متوجه شد.



نگاره ۲- نقشه پراکندگی راهبردها و جایگاه آن‌ها در محور تأثیرگذاری- تأثیرپذیری در خروجی مستقیم سیستم

پس از بررسی اولیه ماتریس تأثیرات متقاطع، باید نسبت به بررسی تأثیرات مستقیم راهکارها اقدام نمود. لازم به ذکر است که در ماتریس اولیه که توسط مصاحبه‌شوندگان، امتیازدهی شد، جمع سطری میزان تأثیرگذاری و جمع ستونی هر راهبرد به‌عنوان میزان تأثیرپذیری آن راهکار در نظر گرفته می‌شود. هرچه میزان جمع سطری یک راهکار بیشتر باشد، نشان‌دهنده اثرگذاری بیشتر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که از بین ۱۹ راهکار نهایی شده، ۸ مورد را می‌توان جز پیشران‌ها دسته‌بندی نمود که عبارت‌اند از:

- توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها؛
- ارزش‌گذاری آب و حذف یارانه‌های آب؛
- توسعه مشاغل غیرزراعی در جوامع روستایی؛
- توسعه دانش و آگاه‌سازی بهره‌برداران از مشکلات منطقه؛
- تقویت ارتباط نهادهای مرتبط با آب؛
- توسعه دانش کارشناسان و نخبه‌گزینی در ادارات؛
- مدیریت یکپارچه در حوزه کرخه‌علیا و
- اجرای فعالیت‌های آبخیزداری (جدول ۴).

جدول ۴- اولویت‌بندی تأثیرات مستقیم راهکارها بر همدیگر

میزان اثرگذاری و تأثیرپذیری			راهکار
اختلاف	تأثیرپذیری	تأثیرگذاری	
۱۴	۱۲	۲۶	توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها
۱۲	۱۳	۲۱	ارزش‌گذاری آب و حذف یارانه‌های آب
۹	۱۹	۲۸	توسعه مشاغل غیر زراعی در جوامع روستایی
۷	۱۹	۲۶	توسعه دانش و آگاه‌سازی بهره‌برداران از مشکلات منطقه
۶	۲۵	۳۱	تقویت ارتباط نهادهای مرتبط با آب
۵	۴	۲۹	توسعه دانش کارشناسان و نخبه‌گزینی در ادارات
۳	۱۴	۲۷	مدیریت یکپارچه در حوزه کرخه علیا
۲	۲۸	۳۰	اجرای فعالیت‌های آبخیزداری

سناریوهای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی؛ مورد مطالعه: حوضه کرخه علیا

تعیین اثرات مستقیم مؤلفه‌های پیشران بر سایر مؤلفه‌ها

مؤلفه‌های پیشران بر چندین مؤلفه دیگر به صورت هم‌زمان تأثیر دارند. در جدول ۵ تعداد این تأثیرات قابل مشاهده هستند.

جدول ۵- جمع‌بندی کلی از تأثیرات قوی و مستقیم مؤلفه‌های پیشران بر سایر مؤلفه‌ها

مؤلفه	اثرگذاری مستقیم بر سایر مؤلفه‌ها
توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها	توسعه مشاغل غیر زراعی در جوامع روستایی، توسعه نقش زنان در مدیریت منابع آب، برگزاری دوره‌های مدیریت صحیح مزرعه، تقویت پاسخگویی مسئولین در حوزه کاری، توسعه تعاونی‌های آب‌بران
ارزش‌گذاری آب و حذف یارانه‌های آب	حمایت‌های تشویقی مالی برای بهره‌برداران موفق و کم‌مصرف، برگزاری دوره‌های مدیریت صحیح مزرعه
توسعه مشاغل غیر زراعی در جوامع روستایی	اجرای فعالیت‌های آبخیزداری و توسعه مدیریت مشارکتی ذینفعان منابع آب
توسعه دانش و آگاه‌سازی بهره‌برداران از مشکلات منطقه	توسعه نقش زنان در مدیریت منابع آب و توسعه مدیریت مشارکتی ذینفعان منابع آب
تقویت ارتباط نهادهای مرتبط با آب	توسعه مدیریت مشارکتی ذینفعان منابع آب، توسعه جنگل‌کاری و اجرا فعالیت‌های آبخیزداری
توسعه دانش کارشناسان و نخبه‌گزینی در ادارات	توسعه مدیریت مشارکتی ذینفعان منابع آب، نظام زراعی کشت متناسب و حمایت‌های تشویقی مالی برای بهره‌برداران موفق و کم‌مصرف
مدیریت یکپارچه در حوزه کرخه علیا	ارزش‌گذاری آب و حذف یارانه‌های آب، بانک اطلاعات دقیق از منطقه، توسعه نقش زنان در مدیریت منابع آب، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای، تقویت پاسخگویی مسئولین در حوزه کاری و توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها
اجرا فعالیت‌های آبخیزداری	توسعه دانش و آگاه‌سازی بهره‌برداران از مشکلات منطقه، بانک اطلاعات دقیق از منطقه و توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها

نتایج فاز سوم

در این گام از پژوهش، بر اساس ۸ پیشران حاصل از فاز قبلی، باید حالات مختلفی طراحی گردد. این حالات طیفی از شرایط مطلوب تا نامطلوب را در برمی‌گیرد و تعداد وضعیت‌های هر عامل، متناسب با میزان پیچیدگی شرایط موجود می‌تواند متغیر باشد و نمی‌توان تعداد ثابتی از حالات را برای تمام مؤلفه‌ها بیان نمود. این تعداد از سناریوها برای هر مساله، بسته به پیچیدگی و شرایط بستر موجود عموماً در چند حالت، قابل تدوین هستند. در این پژوهش، برحسب شرایط موجود و با همفکری و مشورت تیم پژوهش و بهره‌گیری از نظر برخی کارشناسان مربوطه، برای ۸ مؤلفه پیشران، مفروضاتی در نظر گرفته شد. حال تصور می‌شود که در سال ۱۴۲۴ شمسی، یکی از چند حالت فرض شده، رخ دهد. این حالات در جدول ۶ قابل مشاهده است.

جدول ۶- پیشران‌ها و حالات پیش‌بینی شده در افق ۱۴۲۴ وضعیت مدیریت منابع آب در حوضه کرخه علیا

پیشران	حالات پیش‌بینی شده در افق ۱۴۲۴
توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها (A)	در غالب مناطق روستایی، زیرساخت‌ها توسعه خواهند گرفت (مطلوب). در مناطق محروم، زیرساخت‌ها توسعه خواهد یافت (در حال رشد).
ارزش‌گذاری آب و حذف یارانه‌های آب (B)	توسعه زیرساخت‌ها در اولویت قرار نخواهد گرفت (ادامه شرایط کنونی و بحرانی). مصرف حجمی آب آبیاری بر اساس عرضه و تقاضا، قیمت‌گذاری و عرضه خواهد شد (مطلوب). آب آبیاری قابل‌دسترس کماکان تقریباً بی‌قیمت و رایگان توزیع خواهد شد (ادامه شرایط کنونی و بحرانی).
توسعه مشاغل غیر زراعی در جوامع روستایی (C)	کارآفرینی‌های غیر کشاورزی به شدت تشویق خواهد شد (مطلوب). برنامه و سیاست‌های حمایتی برای توسعه کارآفرینی‌های غیر کشاورزی وجود نخواهد داشت (بحرانی). برنامه و سیاست‌های حمایتی برای توسعه کارآفرینی‌های وجود دارد ولی در اجرا با جدیت نخواهند بود (بحرانی).
توسعه دانش و آگاه‌سازی بهره‌برداران از مشکلات منطقه (D)	توسط نهادهای مرتبط، به‌طور کامل و جدی آگاهی از شرایط بحرانی در بین تمام بهره‌برداران به اشتراک گذاشته خواهد شد (مطلوب). آگاهی بهره‌برداران از مشکلات و کمبود آب، در حال افزایش خواهد بود (رو به رشد). آگاهی بهره‌برداران از مشکلات و کمبود آب، در اولویت قرار نخواهد گرفت (بحرانی).

ادامه جدول ۶

پیشران	حالات پیش‌بینی شده در افق ۱۴۲۴
تقویت ارتباط نهادهای مرتبط با آب (E)	در میان همه نهادهای مرتبط با آب، بر سر اهداف، رویکرد و تصمیمات، یکپارچگی نهادی وجود خواهد داشت (مطلوب).
سیستم ناهماهنگ عمل می‌کند و بازیگران اهداف و رویکردهای متفاوت و حتی متضادی را دنبال خواهند کرد (بحرانی).	سیستم ناهماهنگ عمل می‌کند و بازیگران اهداف و رویکردهای متفاوت و حتی متضادی را دنبال خواهند کرد (بحرانی).
نخبه‌گزینی در ادارات و نهادها (F)	سیستم ناهماهنگ است ولی در آن بازیگران برای تحقق اهداف مشترک تلاش خواهند کرد (بحرانی).
مقررات و معیارهای خاص علمی و شایسته سالارانه برای به‌کارگیری افراد در سمت‌های اداری وجود دارد و اجرا خواهد شد (مطلوب).	مقررات و معیارهای خاص علمی و شایسته سالارانه برای به‌کارگیری افراد در سمت‌های اداری وجود دارد و اجرا خواهد شد (مطلوب).
جذب و به‌کارگیری کارشناسان و مسئولین به روال کنونی خواهد بود (بحرانی).	جذب و به‌کارگیری کارشناسان و مسئولین بدون ملاک‌های علمی و تخصصی خواهد بود (بحرانی).
مدیریت یکپارچه در حوزه کرخه علیا (G)	مدیریت حوزه از بالا به پایین به‌صورت متمرکز خواهد شد، بدون در نظر گرفتن نقش مردم (بحرانی).
مدیریت یکپارچه در حوزه کرخه علیا (G)	مدیریت یکپارچه در اولویت قرار نمی‌گیرد (بحرانی).
مدیریت حوزه در مرزهای سیاسی صورت خواهد گرفت (روبه‌رشد).	مدیریت حوزه در مرزهای سیاسی صورت خواهد گرفت (روبه‌رشد).
اجرای فعالیت‌های	فعالیت‌های آبخیزداری منظم و جدی اجرا خواهد شد (مطلوب).
آبخیزداری (H)	فعالیت‌های آبخیزداری به‌صورت پراکنده، بدون برنامه مشخص و موردی انجام خواهد شد (بحرانی).
فعالیت‌های آبخیزداری جز اولویت‌ها و سیاست‌ها قرار داده نخواهد شد (بحرانی).	فعالیت‌های آبخیزداری جز اولویت‌ها و سیاست‌ها قرار داده نخواهد شد (بحرانی).

بعد از امتیازدهی، ماتریس وارد نرم‌افزار سناریو ویزارد (Scenario Wizard) گردید و تحلیل آغاز شد. در این پژوهش نیز برای حالات بحرانی رنگ قرمز، برای روند روبه‌رشد رنگ زرد و برای حالات مطلوب، رنگ سبز اختصاص داده شد. خروجی توصیفی این نرم‌افزار ۵۲۹ سلول قضاوتی بود که منتج از ۸ مؤلفه و ۲۳ حالت مختلف بود. نتایج این بخش نشان داد که از تعداد کل ۵۲۹ سلول قضاوتی، ۲۳ سلول امتیاز ۲- کسب کردند، ۴۸ سلول امتیاز ۱- را کسب کردند. همچنین ۱۰۹ سلول امتیاز ۱+ را به خود اختصاص دادند (جدول ۷).

جدول ۷- اطلاعات عمومی ماتریس تأثیرات متقابل برای تدوین سناریوها

شرح	تعداد سلول	شرح	تعداد سلول	شرح	تعداد سلول	شرح	تعداد سلول
تعداد کل سلول‌ها	۵۲۹	قضاوت ۲-	۲۳	قضاوت ۰	۲۵۲	قضاوت ۲+	۷۶
قضاوت ۳-	۳	قضاوت ۱-	۴۸	قضاوت ۱+	۱۰۹	قضاوت ۳+	۱۸

مهم‌ترین شاخص‌ها برای دسته‌بندی سناریوها به شرح زیر است:

- ۱- شاخص امتیاز مجموع تأثیرات: جمع امتیاز تأثیر همه حالات انتخاب‌شده برای یک سناریو است.
- ۲- شاخص ناسازگاری: امتیاز تأثیر توصیف‌گری که در یک سناریو بیشترین عدد ناسازگاری را داشته باشد، به‌عنوان ناسازگاری یک سناریو در نظر گرفته می‌شود. حداقل عدد ناسازگاری قابل قبول یک سناریو عدد صفر است که به این معناست که هیچ‌کدام از توصیف‌گرهای مربوط به یک سناریو، امتیاز تأثیرات منفی ندارند. به این دسته از سناریوها، سناریوهای قوی گفته می‌شود.
- سناریوهای قوی یا محتمل: سناریوهای با سازگاری صفر هستند.
- سناریوهای با سازگاری بالا: سناریوهای با سازگاری یک هستند که سناریوهای باورکردنی نامیده می‌شوند. در این پژوهش، هیچ سناریویی در این دسته قرار نگرفته است.
- سناریوهای ضعیف: سناریوهای با سازگاری دو هستند که در این پژوهش ۳۰۱ سناریو در این دسته قرار گرفتند. با توجه به اینکه فقط سناریوهای سازگار، سناریوهای منطقی هستند.

سناریوهای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی؛ مورد مطالعه: حوضه کرخه علیا

بنابراین در این پژوهش، فقط به تفسیر سناریوهای سازگار، پرداخته شده است. در این پژوهش، تعداد سناریوهای سازگار، ۹ عدد سناریو بود (جدول ۸).

جدول ۸- مشخصات سناریوهای سازگار به دست آمده

سناریو	اثرات کل	وزن حجمی
اول	۵۰	۲۵۲
دوم	۴۶	۲۵۲
سوم	۱۷	۲۳۹
چهارم	۱۳	۲۳۹
پنجم	۳۹	۲۸۸
ششم	۳۵	۲۸۸
هفتم	۱۲	۲۷۰
هشتم	۸	۲۷۰
نهم	-۱	۳۴۹۴

توصیف سناریوها

- سناریو شماره "یک"، بیشترین تعداد وضعیت‌های احتمالی مطلوب را دارد و تمام هشت مؤلفه در وضعیت احتمالی مطلوب هستند. این سناریو، مطلوب‌ترین حالت پیش‌روی حوضه کرخه علیا است. در این سناریو مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی محقق خواهد شد.

- سناریو شماره "دو"، دارای هفت وضعیت احتمالی مطلوب و یک وضعیت احتمالی در حال رشد است. سناریو مذکور دارای ۸۷/۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب و ۱۲/۵ درصد وضعیت احتمالی در حال رشد است. سناریو مذکور همانند سناریو پیشین، سناریویی مطلوب تلقی می‌گردد، زیرا فاقد مؤلفه‌های بحرانی هست. لازم به ذکر است که تفاوت این سناریو با سناریو قبلی تنها در یک مؤلفه است؛ بدین صورت که در این سناریو "در مناطق محروم، زیرساخت‌ها توسعه خواهد یافت" و این مؤلفه دارای وضعیت در حال رشد هست. در این سناریو نیز مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی محقق خواهد شد.

- سناریو شماره "سه" دارای ۵ وضعیت احتمالی مطلوب و سه وضعیت احتمالی در حال رشد است. این سناریو دارای ۶۲/۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب و ۳۷/۵ درصد وضعیت احتمالی در حال رشد است. این سناریو همانند دو سناریوی قبلی فاقد مؤلفه بحرانی بوده ولی دارای سه مؤلفه در وضعیت "در حال رشد" است که عبارت‌اند از:

الف- آگاهی بهره‌برداران از مشکلات و کمبود آب، در حال افزایش خواهد بود؛

ب- سیستم ناهماهنگ است، ولی در آن بازیگران برای تحقق اهداف مشترک تلاش خواهند کرد؛

ت- جذب و به‌کارگیری کارشناسان و مسئولین به روال کنونی خواهد بود.

در این سناریو با وجودی که سه مؤلفه فوق در حالت "در حال رشد" هستند، اما سناریویی مطلوب تلقی می‌گردد، زیرا مؤلفه‌های دیگر در حالتی مطلوب قرار دارند.

- سناریو شماره "چهار" دارای چهار وضعیت احتمالی مطلوب و چهار وضعیت احتمالی در حال رشد است. سناریو مذکور دارای ۵۰ درصد وضعیت احتمالی مطلوب و ۵۰ درصد وضعیت احتمالی در حال رشد است. این سناریو همانند سه سناریو قبلی فاقد مؤلفه بحرانی است، ولی دارای چهار مؤلفه با وضعیت "در حال رشد" خواهد بود. در واقع ترکیبی از سناریو دوم و سوم را در این سناریو می‌توان مشاهده نمود. در حالت کلی این سناریو نیز جز سناریوهای مطلوب قلمداد خواهد شد.

- سناریو شماره "پنج" دارای ۷ وضعیت احتمالی مطلوب و ۱ وضعیت احتمالی در آستانه بحران است. این سناریو دارای ۸۷/۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب و ۱۲/۵ درصد وضعیت احتمالی در آستانه بحران است. سناریو پنجم با وجودی که فاقد هرگونه مؤلفه با وضعیت بحرانی است، اما یک مؤلفه دارد که در "آستانه بحران" قرار دارد. این مؤلفه به اعمال مدیریت یکپارچه حوضه کرخه مرتبط است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در سناریو مذکور "مدیریت حوزه در مرزهای سیاسی صورت خواهد

گرفت". با این وجود سناریو مذکور را می‌توان جز سناریوهای مطلوب قلمداد نمود، زیرا تنها ۸۷/۵ درصد از حالات این سناریو به وضعیت‌های مطلوب مرتبط است.

- سناریو شماره "شش" دارای شش وضعیت احتمالی مطلوب، یک وضعیت احتمالی در حال رشد و یک وضعیت در آستانه بحران است. سناریو شماره شش دارای ۷۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب و ۲۵ درصد وضعیت احتمالی در آستانه بحران و در حال رشد است. این سناریو نیز همانند سناریو قبلی خواهد بود. بدین معنا که در سناریو مذکور "مدیریت حوزه در مرزهای سیاسی صورت خواهد گرفت" و فاقد هرگونه مؤلفه با وضعیت بحرانی خواهد بود. لازم به ذکر است که در این سناریو یک مؤلفه نیز در حال رشد خواهد بود که نقطه مشترک این سناریو و سناریو شماره چهار خواهد بود. در نهایت این سناریو هم جز سناریوهای مطلوب قلمداد می‌گردد و تصویری ایده‌آل را برای ما از آینده کرخه‌علیا نشان می‌دهد.

- سناریو شماره "هفت" دارای دو وضعیت احتمالی مطلوب، چهار وضعیت در حال رشد و یک وضعیت احتمالی بحرانی است. سناریو مذکور دارای ۳۷/۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب، ۵۰ درصد وضعیت در حال رشد و ۱۲/۵ درصد وضعیت احتمالی بحرانی است. در این سناریو تنها یک مؤلفه بحرانی وجود دارد، بدین شرح که "آب آبیاری قابل دسترس کماکان تقریباً بی‌قیمت و رایگان توزیع خواهد شد". همچنین این سناریو دارای چهار مؤلفه در حال رشد هست که عبارت‌اند از:

الف- مدیریت حوزه از بالا به پایین به صورت متمرکز خواهد شد، بدون در نظر گرفتن نقش مردم؛

ب- جذب و به‌کارگیری کارشناسان و مسئولین به روال کنونی خواهد بود؛

پ- سیستم ناهماهنگ است، ولی در آن بازیگران برای تحقق اهداف مشترک تلاش خواهند کرد؛

ت- آگاهی بهره‌برداران از مشکلات و کمبود آب، در حال افزایش خواهد بود.

با وجودی که سناریو مذکور دارای یک مؤلفه بحرانی است، اما توجه به سایر مؤلفه‌های موجود در این سناریو می‌توان آن را در دسته سناریوهای بینابین قرار داد که نه حالتی مطلوب و ایده‌آل را دارد و نه حالتی وخیم و بحرانی.

- سناریو شماره "هشت" دارای دو وضعیت احتمالی مطلوب، پنج وضعیت احتمالی در حال رشد و یک وضعیت احتمالی بحرانی است. سناریو مذکور دارای ۲۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب، ۶۲/۵ درصد وضعیت در حال رشد و ۱۲/۵ درصد وضعیت احتمالی بحرانی است. این سناریو را نیز می‌توان در دسته سناریوهای بینابین قرار داد که نه حالتی مطلوب و ایده‌آل را دارد و نه حالتی وخیم و بحرانی، زیرا تنها یک مؤلفه بحرانی وجود دارد بدین شرح که "آب آبیاری قابل دسترس کماکان تقریباً بی‌قیمت و رایگان توزیع خواهد شد".

سایر مؤلفه‌های در حال رشد این سناریو عبارت‌اند از:

الف- مدیریت حوزه از بالا به پایین به صورت متمرکز خواهد شد بدون در نظر گرفتن نقش مردم؛

ب- جذب و به‌کارگیری کارشناسان و مسئولین به روال کنونی خواهد بود؛

پ- سیستم ناهماهنگ است؛ ولی در آن بازیگران برای تحقق اهداف مشترک تلاش خواهند کرد؛

ت- آگاهی بهره‌برداران از مشکلات و کمبود آب، در حال افزایش خواهد بود؛ و

ث- در مناطق محروم، زیرساخت‌ها توسعه خواهد یافت.

- سناریو شماره "نه" بر اساس نتایج موجود بحرانی‌ترین سناریو پیش روی حوضه کرخه‌علیا هست؛ این سناریو تنها دارای یک وضعیت احتمالی مطلوب است. همچنین این سناریو دارای سه مؤلفه بحرانی است که عبارت‌اند از:

الف- توسعه زیرساخت‌ها در اولویت قرار نخواهد گرفت؛

ب- آب آبیاری قابل دسترس کماکان تقریباً بی‌قیمت و رایگان توزیع خواهد شد و

پ- برنامه و سیاست‌های حمایتی برای توسعه کارآفرینی‌های غیرکشاورزی وجود نخواهد داشت.

همچنین این سناریو دارای چهار مؤلفه در حال رشد است.

این سناریو دارای ۱۲/۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب، ۵۰ درصد وضعیت احتمالی در حال رشد و ۳۷/۵ درصد وضعیت احتمالی بحرانی است (نگاره ۳).

Szenario Nr. 1	Szenario Nr. 2	Szenario Nr. 3	Szenario Nr. 4	Szenario Nr. 5	Szenario Nr. 6	Szenario Nr. 7	Szenario Nr. 8	Szenario Nr. 9
A: A1	A: A2	A: A1	A: A2	A: A1	A: A2	A: A1	A: A2	A: A3
B: B1						B: B2		
C: C1								C: C2
D: D1		D: D2		D: D1		D: D2		
E: E1		E: E3		E: E1		E: E3		
F: F1		F: F2		F: F1		F: F2		
G: G1				G: G3		G: G4		
H: H1								

نگاره ۳- سناریوهای تدوین شده

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از تحلیل پیشران‌های مؤثر بر مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که هشت پیشران کلیدی برای تحقق مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی حوضه کرخه علیا وجود دارد. در واقع این پیشران‌ها، حوزه‌های مهم هستند که باید در اولویت برنامه‌ریزی قرار بگیرند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از تدوین سناریوها بر اساس پیشران‌های حاصل شده مشخص شد که تعداد ۹ سناریو سازگار و ۳۰۱ سناریو ناسازگار وجود دارد که از بین آن‌ها سناریو شماره ۹، دارای ۱۲/۵ درصد وضعیت احتمالی مطلوب، ۲۵ درصد وضعیت احتمالی در آستانه بحران و ۶۲/۵ درصد وضعیت احتمالی بحرانی و با وزن حجمی ۴۹۴، بحرانی‌ترین سناریو پیش‌روی حوضه مذکور محسوب می‌گردد.

نتایج کلی نیز نشان داد در صورتی که که "چهار سناریو اول"، محقق شوند جامعه مورد مطالعه ما در شرایط مطلوبی قرار خواهد گرفت و منابع آب زیرزمینی پایدار خواهند بود. همچنین می‌توان چنین استنباط نمود که سناریوهای مذکور پایدارترین سناریوهای پیش روی منطقه مورد مطالعه هستند. به این صورت که اگر پایداری را در ابعاد پنج‌گانه اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، سیاست‌گذاری و فناوری (مطابق با چارچوب مفهومی پژوهش) در نظر گرفت، تمام راهکارهای مذکور در حالت مطلوب قرار دارند. نتایج سناریوهای شماره هفتم، هشتم و نهم به علت دارا بودن راهکارهای بحرانی، به ترتیب در دسته سناریوهای بینابین و بحرانی قرار می‌گیرند؛ به این معنا که در صورتی که هرکدام از این سناریوها امکان وقوع داشته باشند مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی محقق نخواهد شد و همچنان این مدیریت با چالش‌های فراوانی مواجه خواهد بود. همچنین بر حسب نظرات پاسخگویان، در بین سناریوهای مذکور بحرانی‌ترین و ناپایدارترین سناریو شماره ۹ است که سه راهکار بحرانی در آن قرار دارد. در صورت رخدادن این سناریو، منابع آب به‌صورت رایگان و به شیوه کنونی توزیع می‌گردد (عدم تعادل در بعد سیاست‌گذاری)، جوامع روستایی از لحاظ زیرساختی با چالش مواجه‌اند و فرصت‌های جدید شغلی برای

جوامع روستایی ایجاد نخواهد شد و همچنان بیکاری و فشار فزاینده به بخش کشاورزی در این سناریو مشاهده خواهد شد (عدم تعادل در بعد اقتصادی).

اگر سناریو شماره ۹ رخ دهد "توسعه زیرساخت‌ها در راستای جذب سرمایه‌گذاری‌ها" در اولویت قرار نمی‌گیرد (بعد اقتصادی) و این راهکار بر عملکرد "توسعه مشاغل غیرزراعی در جوامع روستایی" (بعد اقتصادی) نیز تأثیرات منفی خواهد داشت. همچنین راهکار مذکور به تنهایی سبب عدم اجرای موفق "فعالیت‌های آبخیزداری" خواهد شد و ناپایداری را در سیستم گسترش می‌دهد. این به این معناست که هر یک از راهکارهای بحرانی بر سایر بخش‌ها تأثیرگذار خواهند بود و زنجیره‌ای از تأثیرات منفی را ایجاد خواهند کرد. همین امر به گسترش ناپایداری سیستم منجر خواهد شد. در ادامه بر حسب نتایج حاصله باید راهبردهایی تدوین گردد که محتوای راهبردها منطبق با مؤلفه‌های هشت‌گانه باشد که بتواند حوزه‌های مذکور را به خوبی پوشش دهد. در این مرحله تلاش شد که راهبردها بر اساس الگوی تحلیلی STEEP، در پنج قالب "اجتماعی، فناورانه، اقتصادی، محیط‌زیستی و سیاسی" و کاملاً منطبق بر یافته‌های پژوهش تدوین گردد. راهبردهای تدوین شده به ترتیب در ادامه تشریح خواهند شد:

- راهبرد اول: کارایی و اثربخشی آبخوان‌ها و توسعه آن (محیط‌زیستی) که پوشش‌دهنده حوزه "فعالیت‌های مرتبط با آبخیزداری" می‌باشد؛

- راهبرد دوم: اعمال مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه کرخه‌علیا (سیاست‌گذاری) که می‌تواند "مدیریت یکپارچه در حوزه کرخه‌علیا، تقویت ارتباط نهادهای مرتبط با آب، توسعه دانش کارشناسان و نخبه‌گزینی در ادارات و ارزش‌گذاری آب و حذف یارانه‌های آب" پوشش دهند؛

- راهبرد سوم: اصلاح ساختار مصرف آب در منطقه در راستای سازگاری با کم‌آبی (اجتماعی) که می‌تواند در حوزه "توسعه دانش و آگاه‌سازی بهره‌برداران از مشکلات منطقه" موثر واقع گردد؛

- راهبرد چهارم: متنوع‌سازی اقتصاد جوامع روستایی با تأکید بر مشاغل غیرزراعی (اقتصادی) برای تاب‌آوری جوامع روستایی که این راهبرد در راستای "توسعه زیرساخت‌ها برای جذب سرمایه‌گذاری‌ها و توسعه مشاغل غیرزراعی در جوامع روستایی" می‌تواند موثر باشد؛

- راهبرد پنجم: توسعه کشاورزی دانش‌بنیان (فنی-تکنولوژیکی) که در نهایت می‌تواند در راستای "تقویت ارتباط نهادهای مرتبط با آب و توسعه دانش کارشناسان و نخبه‌گزینی در ادارات" عملکرد موثری داشته باشد.

منابع

- اشرفی، م.، زینال‌زاده، ک.، بشارت، س.، و یاسی، م. (۱۳۹۸). عملکرد مدل WEAP در شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوضه آبخیز الوند. *آکوهیدرولوژی*، دوره ۶، شماره ۲، صص ۳۵۲-۳۴۱. <https://doi.org/10.22059/ije.2019.273012.1020>
- بهشتی، م.، بهبودی، د.، زالی، ن.، و احمدزاده دلجوان، ف. (۱۳۹۹). شناسایی و تحلیل عوامل کلیدی و پیشران‌های مؤثر در مدیریت یکپارچه منابع آب بر مبنای رویکرد آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: شهرستان تبریز). *آکوهیدرولوژی*، دوره ۷، شماره ۱، صص ۷۶-۵۹. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.286464.1176>
- حاتم‌خانی، ا.، مریدی، ع.، شوریان، م.، و اسکندری، م. (۱۴۰۰). برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه آبریز کرخه با توجه به درآمد ناخالص بخش کشاورزی، توازن در توزیع درآمد کشاورزی و تأمین حقایق محیط‌زیستی. *مدیریت آب و آبیاری*، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۴۵۰-۴۳۳. <https://doi.org/10.22059/jwim.2021.325449.885>
- رحمانی، م.، داوری، ک.، ابوالحسنی، ل.، ثابت تیموری، م.، و شفیع‌ی، م. (۱۴۰۰). بررسی و انتخاب شاخص‌های ارزیابی مدیریت پایدار آب در حوضه‌های آبریز. *علوم و مهندسی آبیاری*، دوره ۴۴، شماره ۱، صص ۱۵۴-۱۴۱. <https://doi.org/10.22055/jise.2019.29535.1852>
- غفاری‌مقدم، ز.، مرادی، ا.، هاشمی تبار، م.، و سردار شهرکی، ع. (۱۴۰۰). تحلیلی بر بحران آب در بخش کشاورزی منطقه سیستان در سناریوهای مختلف: رهیافت آینده پژوهی. *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، جلد ۳۵، شماره ۲، صص ۲۱۶-۲۰۲. <https://doi.org/10.22092/jwra.2021.354315.864>

- Adams, V. M., Douglas, M. M., Jackson, S. E., Scheepers, K., Kool, J. T., and Setterfield, S. A. (2018). Conserving biodiversity and indigenous bush tucker: Practical application of the strategic foresight framework to invasive alien species management planning. *Conservation Letters*, 11(4), 12441. <https://doi.org/10.1111/conl.12441>.
- Andersen, P. D., and Rasmussen, B. (2014). Introduction to foresight and foresight processes in practice: Note for the PhD course strategic foresight in engineering. Department of Management Engineering, Technical University of Denmark. Available at: <<https://orbit.dtu.dk/en/publications/introduction-to-foresight-and-foresight-processes-in-practice-not>>
- Coelho, G. M., Galvão, A. C. F., Guedes, A. C., Carneiro, I. A., Chauke, C. N., and Filho, L. F. (2012). Strategic foresight applied to the management plan of an innovation development agency. *Technology Analysis & Strategic Management*, 24(3), 267–283. <https://doi.org/10.1080/09537325.2012.655412>
- Eckstein, G. (2017). *The international law of transboundary groundwater resources*. New York, Abingdon, Oxon: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315731216>
- Fisher, G., Wisneski, J. E., and Bakker, R. M. (2020). Strategy in 3D: Essential tools to diagnose, decide, and deliver. Oxford: Published to Oxford Scholarship. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190081478.001.0001>
- Godet, M., and Durance, P. H. (2011). Strategic foresight for corporate and regional development, France: Dunod.
- Haghiabi, A. H., and Mastorakis, N. (2009). Water resources management in Karkheh Basin-Iran. proceedings of the 3rd international conference on energy and development environment biomedicine. November 30th, Vouliagmeni, Greece.
- Iglesias, A., and Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*, 155, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>.
- Jakeman, A. J., Barreteau O., Hunt R. J., Rinaudo, J. D., and Ross, A. (2016). *Integrated groundwater management: An overview of concepts and challenges*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_1
- Klaas, D. K. S. Y., Monzur, A. I., Sudiayem, I., Klaas, E. M. E., and Klaas, E. C. M. (2020). Assessing climate changes impacts on tropical karst catchment: Implications on groundwater resource sustainability and management strategies. *Journal of Hydrology*, 582, 124426. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124426>
- Lukat, E., Pahl- Wostl, C., and Lenschow, A., (2022). Deficits in implementing integrated water resources management in South Africa: The role of institutional interplay, *Environmental Science & Policy*, 136, 304-313. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.06.010>.
- Mack, L. (2019). MARS-Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple Stress. *Science of the Total Environment*, 668. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.251>
- Madhnure, P., Rao, P. N., and Rao, A. D. (2015). Establishing strategies for sustainable ground water management plan for typical granitic aquifers -A pilot study near hyderabad, India. *Aquatic Procedia*. 4, 1307-1314. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.170>
- Manzano-Solís, L. R., Díaz-Delgado, C., Gómez-Albores, M. A., Mastachi-Loza, C. A., and Denise, S. (2019). Use of structural systems analysis for the integrated water resources management in the Nenetzingo river watershed, Mexico. *Land Use Policy*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104029>
- Niederberger, M., and Spranger, J. (2020). Delphi technique in health sciences: A map. *Front. Public Health*, 8. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7536299/>
- Olli, V., Mizanur, R., and Laszlo, S. (2007). Paradigms, trends and tendencies in water management. In V. Olli, and V. Tommi Kajader (Eds.), *An exploration into an urbanizing world - interconnections on water, poverty, food, and urbanization*. PP. 38-64. Helsinki University of Technology.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325 (5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Panula-Ontto, J., Luukkanen, J., Jari., Kaivo-oja, T., Jarmo, V., Seppo, V., Tomas, B., Timo, K, Pertti, J., Yrjö ,M., Matti, K., Pami, A., Pirkko, H., Kari, K., Hannele, H., and Sami, R. (2018). Cross-impact analysis of Finnish electricity system with increased renewables: Long-run energy policy challenges in balancing supply and consumption. *Energy Policy*, 118, 504-513, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.009>
- Qin, H ., Chunmiao, Z., Xin He, Jens., and Christian, R. (2019) Analysis of water management scenarios using coupled hydrological and system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 33, 4849-4863.
- Samani, S. (2020). Analyzing the groundwater resources sustainability management plan in Iran through comparative studies. *Groundwater for Sustainable Development*. 12, 100521. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100521>
- Schlange, E., and Jüttner, U. (1997). Helping managers to identify the key strategic issues. *Long Range Planning*, 30(5), 777-786. [https://doi.org/10.1016/S0024-6301\(97\)00054-X](https://doi.org/10.1016/S0024-6301(97)00054-X).
- Stewart, S., Mahmoud, M., Liu, Y., Hartmann, H., Wagener, T., and Gupta, H. (2008). Scenario development for water resources decisionmaking. Ph.D. Dissertation. University of Arizona.
- Stone, A., Lanzoni, M., and Smedley, P., (2020). Groundwater resources: past, present and future. In S. J. Dadson, D. E. Garrick, E. C. Penning-Rowsell, J. W. Hall, R. Hope, and J. Hughes (Eds.), *Water science, policy, and management: A global challenge*. PP. 29-54. Wiley: On line library.

- Wang, W.; Tang, D.; Pilgrim, M.; Liu, J. (2016). Water resources compound systems: A macro approach to analysing water resource issues under changing situations. *Water*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.3390/w8010002>
- Zaman, A., Zaman, P., and Sagar, M. (2017). Water resource development and management for agricultural sustainability. *Journal of Applied and Advanced Research* 2(2), 73-85. <https://doi.org/10.21839/JAAR.2017.v2i2.61>