Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 2, PP. 17-30, Summer 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2023.388611.1354

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۲، صفحات ۱۷-۳۰، تابستان ۱۴۰۳

Research Paper

Identifying and Prioritizing Strategies to Adapt to Dehydration Using Hierarchical Analysis and TOPSIS Approaches (Case Study of Bushehr Province)

Masoud Haraghi[1*], Ali Darvishi[2] and Maryam Haraghi[3]

1- PhD Student in Industrial Management, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.
2- Member of the Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
3- MSc in Business Administration, Lorestan University, Lorestan, Iran.
*Corresponding Author, Email: Haraghy@yahoo.com

Received: 06/03/2023
Revised: 18/10/2023
Accepted: 08/11/2023
© IWWA

Abstract

One of the most important approaches of governance in water sector in recent years is the transition from policies to deal with drought to adaptation to water scarcity. Curbing the consequences of drought and adapting to water scarcity requires applying practical management and adopting correct policies in the field of demand and consumption. Choosing the right method to adapt to water scarcity is considered as one of the complex issues due to the existence of various parameters and influencing factors. In this research, while studying the status of water resources and uses in Bushehr province and identifying strategies to adapt to water scarcity in the province and effective criteria, a comprehensive decision-making method is also presented. First, the criteria effective on water scarcity adaptation strategies are identified and prioritized using hierarchical analysis. Then, using TOPSIS technique, the solutions are ranked. The statistical population of the research is the experts and the heads of departments of water and sewage and regional water companies, 40 of the relevant experts are randomly selected and examined. According to the findings of the research, the development of desalination systems and water softeners, management of water consumption and reduction of water wastage, and the implementation of emergency projects for the supply and management of water consumption in cities and villages are identified as three important solutions in adapting to Dehydration.

Keywords: Adaptation to water scarcity, Water consumption management, Hierarchical analysis, TOPSIS, Bushehr province.

مقاله پژوهشی

شناسایی و اولویت‌بندی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس (مطالعه موردی استان بوشهر)

مسعود حراقی[۱*]، علی درویشی[۲] و مریم حراقی[۳]

۱- دانشجو دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۲- عضو هیات علمی دانشکده کسب و کار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.
۳- کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: Haraghy@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

یکی از مهم‌ترین رویکردهای سال‌های اخیر حکمرانی در حوزه آب، گذار از سیاست‌های مقابله با خشکسالی به سازگاری با کم‌آبی است. مهار عواقب ناشی از خشک‌سالی و سازگاری با کم‌آبی مستلزم اعمال مدیریت کاربردی و اتخاذ سیاست‌های صحیح در حوزه تقاضا و نحوه مصرف است. انتخاب روش مناسب برای سازگاری با کم‌آبی به‌علت وجود پارامترها و عوامل تأثیرگذار متنوع به‌عنوان یکی از مسائل پیچیده مطرح است. در این پژوهش ضمن مطالعه وضعیت منابع و مصارف آبی استان بوشهر و شناسایی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی در استان و معیارهای مؤثر بر آن، یک روش تصمیم‌گیری جامع نیز ارائه شد. نخست معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی شناسایی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شدند. سپس با استفاده از تکنیک تاپسیس، راه‌کارها رتبه‌بندی شدند. جامعه آماری پژوهش کارشناسان و روسای ادارات شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای هستند که ۴۰ نفر از کارشناسان مربوطه به‌صورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرارگرفتند. مطابق با یافته‌های پژوهش، توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب و اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها به‌عنوان سه راه‌کار حائز اهمیت در سازگاری با کم‌آبی شناسایی شدند.

کلمات کلیدی: سازگاری با کم‌آبی، مدیریت مصرف آب، تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، استان بوشهر

۱- مقدمه

بحران آب از نوع بحران‌های خزنده و تدریجی است. این شکل از بحران از نابسامانی‌های موجود در یک سیستم آغاز می‌شود و به‌دلیل بی‌توجهی و نادیده گرفتن، به‌تدریج دامنه، گستره و سطح آن افزایش می‌یابد. هم‌چنین امکان انتقال از یک حوزه تعریف‌شده مثل حوزه اقتصادی به حوزه‌های دیگر هم‌چون سیاسی و اجتماعی را دارد که این ویژگی مدیریت آن را با مشکل مواجه می‌نماید. این شکل از بحران‌ها معمولاً حالتی مزمن دارند و با تأثیر منفی در زیرساخت‌های اجتماعی در ترکیب با انواع دیگر بحران‌ها موجب وخامت و تشدید شرایط بحران می‌شوند. در این نوع بحران مدتی زمان می‌برد تا تغییرات کوچک پله‌پله به نتایج اساسی منتهی شود .(نصراللهی، ۱۳۹۴).

منابع آبی، به‌عنوان سرمایه‌های طبیعی هر سرزمین، نقش عمده‌ای در چرخش اقتصادی و محیطی دارند و از این‌رو همواره موردتوجه برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران هستند. نحوه ارزیابی و مدیریت این سرمایه‌های طبیعی برحسب نوع و الگوی آن‌ها در مناطق مختلف جغرافیایی متفاوت است (پاکزاد و همکاران، ۱۳۹۷). دسترسی به منابع آب با اطمینان و پایدار از محدودیت‌های اصلی توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع به‌شمار می‌رود (عطایی و ایزدی، ۱۳۹۳). از سوی دیگر با افزایش جمعیت انتظار می‌رود میزان مصرف آب در همه بخش‌ها افزوده شود که این امر همراه با توسعه صنایع و افزایش سریع جمعیت باعث ایجاد رقابت برای دستیابی به منابع آب خواهد شد (Hartley, 2015). لذا چالشی به‌منظور مدیریت مصرف و از سوی دیگر سازگاری با کم‌آبی پیش خواهد آمد. بهبود وضعیت منابع آب مستلزم اقدامات یکپارچه ترویجی، آموزشی، پژوهشی، عمرانی و زیرساختی است. این اقدامات درصورتی اثربخش خواهد بود که هم زمینه مشارکت متصدیان در مدیریت پایدار آب فراهم و هم راهبردهای مقتضی و سازوکارهای نهادی متناسب با شرایط اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی هر منطقه و حوزه آبریز تدوین شود. در ادامه برخی از پژوهش‌هایی که اخیراً در خصوص سازگاری با کم‌آبی انجام‌شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

Zarepour Moshizi et al. (2022) روشی یک‌پارچه برای ارزیابی مواجهه، حساسیت و ظرفیت تطبیقی ارائه و بحران آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در مناطق روستایی که کشاورزی اصلی‌ترین معیشت کشاورزان است را بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که علت اصلی کمبود آب، مدیریت ضعیف است و سرمایه‌های طبیعی مستقر در روستاها عمدتاً تفاوت‌هایی در ظرفیت سازگاری در مناطق روستایی ایجاد کرده‌اند و وضعیت به‌گونه‌ای است که روستاهای واقع در پایین‌دست سرمایه طبیعی خود را به‌دلیل کاهش کیفیت آب ناشی از خشک شدن رودخانه‌ها و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی از دست داده‌اند.

Savari and Moradi (2022) با مطالعه خانوارهای مناطق روستایی، شش استراتژی سازگاری با خشکسالی را تعریف و آن‌ها را مبتنی بر اثربخشی، اولویت‌بندی نمودند. اولویت‌ها از مهم‌ترین به‌ترتیب شامل مدیریت مزرعه، مدیریت محصول، مدیریت مالی، مدیریت آبیاری و آب، فعالیت‌های اجتماعی و مدیریت زیرساخت‌های فیزیکی بودند.

Javadinejad and Jafary (2021) در پژوهشی که در کالیفرنیا صورت‌گرفت، واکنش‌های مختلف کشاورزان به خشکسالی و نیز میزان خسارات ناشی از آسیب‌های اجتماعی-اقتصادی، محیطی و میزان مقاومت کشاورزان در این خصوص را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها شاخص تاب‌آوری جمعیت و گروه‌های انسانی درگیر در برابر بحران تحت تغییرات اقلیمی را اولویت‌بندی نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تاب‌آوری آن‌ها در برابر خشکسالی و تغییرات اقلیمی توسعه بیمه کشاورزی، سپس استقرار سامانه‌های پایش خشکسالی، تغییر اقلیم و ارزیابی خسارت و در نهایت دانش است.

زبیدی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی نشان دادند شناسایی و طبقه‌بندی روش‌های سازگاری مبنتی بر داده‌های تجربی می‌تواند به طراحی و اجرای مشوق‌ها، قوانین و یا اصلاحات نهادی کمک کند. نتایج پژوهش نشان داد که روش‌های سازگاری به چهار دسته کلی شامل تغیر در عملیات کشاورزی، مدیریت آبیاری، مدیریت مالی و اقتصادی و مدیریت اجتماعی تقسیم‌بندی می‌شود. روش‌های مدیریت عملیات کشاورزی به‌نوبه خود شامل دو دسته مدیریت محصول و مدیریت مزرعه است که مدیریت آب شامل صرفه‌جویی در آب و فناوری تأمین آب، روش‌های مدیریت اقتصادی شامل تنوع بخشی به درآمد یا شغل، بیمه کشاورزی، پس‌انداز کردن و صرفه‌جویی در هزینه‌ها و دریافت کمک مالی به‌صورت قرض و یا وام است. مدیریت اجتماعی نیز در زیر طبقه مهاجرت و شبکه‌سازی و گسترش دانش به‌منظور افزایش آگاهی در مورد روش‌های کاهش آسیب بوده است.

لطیفی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با استفاده از روش SWOT و تکنیک QSPM راهبردهای سازگاری با کم‌آبی و خشک‌سالی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را تدوین و اولویت‌بندی نمودند. نتایج پژوهش نشان‌داد که از بین راهبردهای

تدوین‌شده، اعمال مدیریت یکپارچه با اصلاح ساختار تقسیمات کشوری براساس طراحی و استقرار سامانه تصمیم‌یار مدیریت جامع حوزه آبخیز و اعمال مدیریت اکوسیستم‌محور با استفاده از مطالعه و اجرای برنامه حفاظت اکولوژیک پارک ملی دارای بیشترین جذابیت هستند. هم‌چنین استقرار بازار آب از طریق ساماندهی چاه‌ها و نصب کنتورهای هوشمند حجمی، کمترین جذابیت را از نظر خبرگان داشت.

عبداله‌زاده و شریف‌زاده (۱۳۹۹) با استفاده از اظهارات متخصصان در قالب گروه کانونی و اسناد مرتبط با برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی استان گلستان، ذی‌نفعان را با دو معیار قدرت تأثیرگذاری و سطح نفوذ برنامه‌ها، در قالب چهار دسته شامل مصرف‌کنندگان/آب‌بران، مجریان/تنظیم‌کنندگان، تدبیرکنندگان/ تصمیم‌گیرندگان و تسهیل‌گران/تأثیرگذاران (که هریک دارای علاقه و قدرت متفاوتی بودند)، تقسیم نمودند و برای هر یک از ذی‌نفعان ۱۵ نیاز و انتظار شناسایی‌شده و در نهایت اقدامات مدیریتی مقتضی برای سازگاری با کم‌آبی ارائه کردند.

انصاری و همکاران (۱۳۹۹) امنیت آبی حوزه آبریز طشک بختگان را به‌عنوان نمونه مطالعاتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان‌داد که به‌منظور افزایش بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی، هم‌زمان با افزایش راندمان آبیاری، فعالیت کشاورزی نیز کاهش‌یافته و به‌منظور جبران خسارت اقتصادی و اجتماعی، باید فعالیت در بخش خدمات و صنعت افزایش یابد. آستانه و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از متدولوژی تحلیل سلسله مراتبی، شرایط علی و استراتژی‌های رسانه‌ای مرتبط را وزن‌دهی کردند. مهم‌ترین استراتژی‌ها پس از وزن‌دهی ارتقای سرمایه اجتماعی از طریق رسانه، اعتمادآفرینی رسانه‌ای، برقراری ارتباطات اثربخش، رویکرد علم محور رسانه‌ای و استفاده از تاکتیک‌های رسانه‌ای تعیین شدند.

هرندی (۱۳۹۷) ضمن مرور محتوای مصوبه تشکیل کارگروه سازگاری با کم‌آبی، دلایل و عواملی را بررسی کرد که عدم توجه به آن‌ها احتمال موفقیت مصوبه را به حداقل رسانده است. سپس تغییر رویکرد دولت در برخورد با بحران کم‌آبی و حرکت از مقابله با خشک‌سالی به سازگاری با آن را نقد و بررسی نموده و نتیجه‌گیری کرد که اصلی‌ترین عنصر غایب در مصوبه سازگاری، حضور ذی‌مدخلان و تبیین روش جلب همکاری و مشارکت است. در پایان قواعدی علمی که باید بر قانون‌گذاری رژیم حکمرانی موفق آب حاکم باشد ارائه‌شد. دباغیان و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ضمن بررسی پارامترهای اقتصادی، فنی و کاربردی و محیط‌زیستی و اجتماعی، با درنظر گرفتن نظرات کارشناسان، بهترین گزینه برای تصفیه صنایع آب‌کاری را انتخاب کردند.

مهار عواقب ناشی از خشک‌سالی و سازگاری با کم‌آبی علاوه‌بر مدیریت کاربردی در حوزه تقاضا و نحوه مصرف، مستلزم به‌کارگیری روش‌های نوین در نحوه تأمین منابع آبی است. مرور منابع مرتبط نشان می‌دهد تاکنون پژوهشی در خصوص ارزیابی روش‌های سازگاری با کم‌آبی در استان‌های کشور به‌خصوص استان بوشهر صورت نگرفته است و با توجه به این‌که نیازها و مشخصات محیط‌زیستی و اقلیمی هر منطقه منحصربه‌فرد است. لذا ارزش و اهمیت هر یک از راه‌کارهای شناسایی‌شده نیز متفاوت و وابسته به اقلیم است. استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند به شناسایی مؤثرترین روش سازگاری با کم‌آبی منطبق بر نظر کارشناسان منجر شود. لذا در این پژوهش ضمن بررسی وضعیت سیمای آب استان بوشهر به لحاظ عرضه و تقاضا و نوع مصرف، معیارهای تأثیرگذار بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی شناسایی و با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، معیارهای مذکور رتبه‌بندی و با درنظر گرفتن وزن معیارهای مذکور، راه‌کارهای عملی سازگاری با کم‌آبی با استفاده از تکنیک تاپسیس برحسب اهمیت رتبه‌بندی شد.

۲- سیمای آب استان بوشهر

در مطالعات و برنامه‌ریزی برای سازگاری با کم‌آبی، سنجش ظرفیت هر یک از منابع آبی ضرورت می‌یابد. در ادامه ظرفیت‌های منابع آبی در دسترس استان بوشهر به‌صورت اجمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- منابع آب استان بوشهر

۲-۱-۱- بارندگی در استان و حوزه‌های آبریز استان‌های مجاور

الگوهای بارشی، زمان و مقدار بارش تقریباً به سامانه‌های جوی و موقعیت‌های جغرافیایی مناطق بستگی دارد؛ بر مبنای تصویرهای اقلیمی، در دهه‌های آینده با فرض آن‌که میزان بارش تغیر چندانی نکند، استان بوشهر به لحاظ منابع بارشی، با چالش عمده مواجه خواهد شد. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، متوسط بارندگی سالانه استان بوشهر در دوره بلندمدت سی سال اخیر، معادل با ۲۵۳/۷ میلی‌متر است که از توزیع زمانی و مکانی مناسبی در سطح استان برخوردار نیست.

جدول ۱- وضعیت بارندگی طی دو سال اخیر و بلندمدت (برحسب میلی‌متر) (اداره هواشناسی استان بوشهر، ۱۴۰۱)

مقدار بارندگی در سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱	مقدار بارندگی در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰	مقدار بارندگی در بلندمدت (۳۰ ساله)	درصد تحقق بارندگی سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ نسبت به میانگین بارندگی دوره ۳۰ ساله
۲۱۲/۵	۲۰۰/۳	۲۵۳/۷	٪۸۴

استان بوشهر در پایاب دو حوزه بزرگ مند و حله قرار گرفته است. تقریباً مساحت ۱۸۰۰۰ هکتار از نخلستان‌های قدیمی شهرستان دشتستان که ۹۵ درصد مصرف آب سطحی بخش کشاورزی استان را به‌خود اختصاص می‌دهند در پایاب حوزه حله قرارداشته و وابستگی شدیدی به وقوع بارندگی در استان فارس دارند. نه تنها بخش غالب آب کشاورزی، بلکه ۸۵ درصد آب شرب استان بوشهر نیز متکی به منابع سطحی و زیرزمینی شهرستان کازرون در استان فارس و سد کوثر در استان کهکیلویه و بویراحمد است. بنابراین تغییرات بارندگی در حوزه آبریز حله و زهره بخش شرب و کشاورزی استان را تحت تأثیر قرار خواهد داد (نوروزی و همکاران، ۱۳۸۹).

شهرستان‌های دشتی و دیر نیز در پایاب رودخانه بزرگ مند قرارگرفته‌اند و مشاغل اهالی مناطق هم‌جوار این رودخانه که کشاورزی و دیم‌کاری است، متکی به سیلاب رودخانه است. در سال‌های کم بارش که جریان سیلابی رودخانه نتواند اراضی را آبیاری نماید عملکرد محصولات کشاورزی این شهرستان‌ها کاهش‌یافته و به منابع آبی استان فشار مضاعف وارد می‌آورد.

همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، میزان بارش در سال ۱۴۰۰ نسبت به بلندمدت در دو حوزه اصلی آبریز مجاور استان، شامل حوزه حله ۱۱۱ میلی‌لیتر و حوزه مند ۶۶ میلی‌لیتر کاهش‌یافته است. لذا با توجه به کاهش مذکور می‌توان عنوان نمود که میزان کاهش در حوزه‌ها آبریز مجاور در حدود ۲۴ درصد بوده است.

جدول ۲- وضعیت بارندگی در حوزه‌های آبخیز استان‌های مجاور (برحسب میلی‌متر) (اداره هواشناسی استان بوشهر، ۱۴۰۱)

حوزه آبریز	آمار بارش بلندمدت مشابه	از ابتدای سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱	مدت مشابه سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰	مقدار کاهش نسبت به بلندمدت	درصد کاهش نسبت به بلندمدت
حله	۴۷۰/۱	۳۵۹/۶	۳۲۹/۵	-۱۱۱	-۲۴
مند	۲۷۹/۸	۲۱۳/۵	۱۱۹/۶	-۶۶	-۲۴

۲-۱-۲- منابع آب سطحی

اولین منبع آبی که از کاهش یا افزایش بارندگی استان متأثر می‌شود، منابع سطحی است. خشک‌سالی‌های انباشته در دوره‌های ده‌ساله اخیر نه‌تنها جریان پایه رودخانه‌های اصلی استان را کاهش داده و حتی به خشکیدن برخی از رودخانه‌های مهم از جمله شاپور، باغان و اهرم منجر شده، بلکه کاهش آورد رودخانه‌ها نیز درصدهای کاهش به‌مراتب بالاتری بیش از درصد کاهش بارندگی را تجربه می‌نماید، به قسمی که کاهش ۱۶ درصدی بارندگی در محدوده استان و کاهش ۲۴ درصدی در حوزه‌های بالادست باعث کاهش حدود ۴۸/۵ درصدی آورد رودخانه‌های اصلی استان شده است. جدول ۳، وضعیت جزییات تغییرات منابع آب‌های سطحی در حوزه بوشهر را به تفکیک موقعیت نمایش می‌دهد.

جدول ۳- وضعیت تغییرات منابع آب‌های سطحی در حوزه بوشهر (برحسب میلی‌لیتر) (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

موقعیت	آمار سالانه بلندمدت	از ابتدای سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱	مدت مشابه سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰	درصد کاهش نسبت به بلندمدت
قنطره	۹۱۶/۹	۸۰۹/۹	۲۷۳/۸	-۱۱/۷
باغان	۲۹	۳۰/۳۵	۱۰/۶	+۴/۷
اهرم	۳۵/۱	۷/۲	۲/۴	-۷۹/۵
دالکی(سرقنات+نهر)	۵۱۸/۱	۱۶۷/۶	۲۸۲/۴	-۶۷/۷
شاهپور(سعدآباد+نهر)	۴۷۰	-	-	-
مجموع	۱۹۶۹/۱	۱۰۱۵/۱	۵۶۹/۲	-۴۸/۵

۲-۱-۳- منابع آب زیرزمینی

استان بوشهر از پتانسیل قابل‌توجهی در بخش آب زیرزمینی برخوردار نیست. طبق جدول ۴ که بررسی ۱۷ سفره آبخوان استان را نشان می‌دهد، تراز مخازن آب دشت‌های استان در مدت فروردین ۱۴۰۱ نسبت به ابتدای سال ۱۴۰۰ دارای کاهش ۴۹۳ سانتی‌متر است و تراز شهریور سال ۱۴۰۱، نسبت به تراز بلندمدت حدود ۱۱۶۰۶/۳۶ سانتی‌متر کاهش داشته است. این اتفاق باعث شده که متوسط کسری حجم مخازن سالانه معادل با ۲۴/۱۱ میلیون مترمکعب باشد.

جدول ۴- وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی در دشت‌های استان بوشهر (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

نام دشت	تغیر تراز شهریور ۱۴۰۱ نسبت به بلندمدت (سانتی‌متر)	تغیر تراز فروردین ۱۴۰۱ نسبت به ابتدای سال ۱۴۰۰ (سانتی‌متر)	تغییرات تراز سالانه (سانتی‌متر)	متوسط کسری حجم مخزن سالانه (م.م.م)
گناوه	-۰/۶۳	۱۵	-۰/۱	-۰/۰۱
پشت‌پر	-۳۱	-۵۴	-۳	-۰/۰۱
دشت‌گور	-۶۹۷	-۳۳	-۵۴	-۱/۷۸
سرقنات	-۱۷۲	-۴۵	-۱۳	-۰/۹۶
برازجان	-۳۴۳	-۲۰	-۱۳	-۱/۴۲
طلحه-فاریاب	-۱۳۹۴	-۱۱۳	-۵۲	-۰/۵۴
بوشکان	-۲۳۶۷	-۹۳	-۱۰۳	-۴/۳۶
دهرود-تنگ ارم	-۱۶۱۸	-۱۰۰	-۱۲۰	-۳/۰۵
اهرم	-۴۱۱	-۱۶	-۲۴	-۱/۷۹
کاکی-بردخون	-۱۶۷	-۹	-۱۲	-۲/۰۰
خورموج	-۲۱۳	-۱۶	-۱۳	-۳/۳۷
چاهگاه	-۲۳۹	-۳۵	-۱۵	-۰/۹۵
دشت پلنگ	-۱۲۵۵	-۳۱۹	-۷۸	-۱/۸۶
باغان	-۶۳۷	-۲۴۳	-۴۵	-۰/۳۶
ریز	-۱۲۵۰	-۷۶	-۷۴	-۱/۵۴
جم	-۵۴۰	-۱۳۴	-۳۲	-۰/۵۲
آبدان-لمبدان	-۲۷۲	-۲۹	-۱۴	-۱/۵۹

علاوه‌بر فقر کمی، بیشتر آبخوان‌های استان نیز از منظر کیفی دارای شرایط مناسبی نیستند و تحت‌تأثیر برداشت‌های بی‌رویه و خشک‌سالی‌های اخیر، همین پتانسیل ضعیف نیز در مرحله نابودی و از دست‌رفتن قراردارد. جدول ۵، وضعیت کیفی مخازن آب استان را نمایش می‌دهد. بررسی منابع آب‌های زیرزمینی استان موارد زیر را نشان می‌دهد:

- ✓ صرفاً یک درصد از مساحت آبخوان‌های استان بوشهر دارای آبی باکیفیت شرب و کاملاً مناسب برای کشاورزی هستند.
- ✓ سه درصد مساحت آبخوان‌های استان دارای آبی باکیفیت مناسب و فاقد محدودیت نسبی برای کشاورزی و قابل‌تحمل برای مصارف بهداشتی هستند.
- ✓ چهل و شش درصد از مساحت آبخوان‌های استان از آبی برخوردارند که با اعمال محدودیت‌هایی امکان استفاده برای کشاورزی دارد.
- ✓ پنجاه درصد از آبخوان‌های استان نیز از چنان کیفیت پایینی برخوردارند که صرفاً برای فعالیت‌های شورورزی و آبزی‌پروری قابلیت استفاده داشته و استفاده از آن‌ها در فعالیت‌های کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت مستلزم شیرین‌سازی و بهبود و اصلاح کیفیت است.

جدول ۵- وضعیت کیفی محدوده‌های مطالعاتی استان (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

دامنه شوری	کاربری ممکن	نام دشت	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
کمتر از ۱۵۰۰	شرب و کشاورزی	پشت‌پر، ججم، طلحه فاریاب	۲۷	۱
۳۰۰۰-۱۵۰۰	شرب و کشاورزی	جم، ریز، باغان-سرچشمه، دشت پلنگ، طلحه فاریاب، دهرود تنگ ارم، طلحه فاریاب-خون، بوشکان، خورموج، چاهگاه-لاور، مند، سیراف-بردخون کهنه	۱۶۰	۳
۵۰۰۰-۳۰۰۰	با اعمال محدودیت کشاورزی		۳۱۱	۶
۱۰۰۰۰۰-۵۰۰۰	کشاورزی با گیاهان مقاوم به شوری	گلدشت-سرقنات-برازجان، بوشهر، اهرم-طلحه- فاریاب، دهرود-تنگ‌ارم، بوشکان، خورموج، مند، دیر، کنگان، عسلویه	۲۰۳۲	۴۰
بیش از ۱۰۰۰۰۰ آبزی‌پروری و شوروزی	آبزی‌پروری و شورورزی	دیلم، سرقنات-برازجان، اهرم، خورموج، دلوار، گناوه، برازجان-آبپخش، بوشهر، گناوه	۲۵۵۵	۵۰
مجموع			۵۰۸۵	۱۰۰

۲-۱-۴- آبگیری سدهای مخزنی

سد مخزنی رئیسعلی دلواری، تنها سد در دست بهره‌داری استان بوشهر است. بهره‌برداری قانونی و اصلی این سد شامل حقابه‌های محیط‌زیستی تالاب حله و رودخانه‌های شاپور و حله، ۶۵۰۰ هکتار نخیلات و ۳۵۰۰ هکتار زراعت شبکه آبیاری و زهکشی آب‌پخش، ۷۸۰۰ هکتار شبکه آبیاری و زهکشی دشت شبانکاره و ۸۵۰۰ هکتار حقآبه بران سنتی حاشیه حله است. براساس جدول ۶ که وضعیت آبگیری سدهای استان را نشان می‌دهد، خالی‌ماندن به‌طور متوسط بیش از ۵۰ درصد از ظرفیت سد مذکور طی سنوات گذشته، بیانگر شرایط نه‌چندان مناسب این سد در تأمین حقابه مناطق تحت پوشش است.

جدول ۶- وضعیت آبگیری سدهای استان بوشهر (شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۱۳۹۷)

سد	حجم مخزن (م.م.م)	حجم ذخیره مخزن (م.م.م)		درصد پر بودن	
		۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱
سد مخزنی رییسعلی دلواری	۶۹۴	۴۰۹	۵۲۹	۵۹	۷۶

۲-۲- مصارف آب استان

بنا به آمار منتشره شرکت آب منطقه‌ای استان، حجم کل برداشت از منابع سطحی، زیرزمینی (آبخوان‌های آبرفتی، سازند و چشمه و قنوات) برای مصارف کشاورزی، شرب و خدمات صنعت و معدن و فضای سبز شهری معادل با ۱۰۵۱ میلیون مترمکعب در سال اعلام‌شده است که توزیع آن در کاربردهای مختلف به‌شرح جدول ۷ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مصرف در بخش کشاورزی (۷۷ درصد)، پس از آن شرب (۱۵ درصد) و صنعت (۷درصد) است.

جدول ۷- توزیع آب مصرفی استان بوشهر در کاربری‌های مختلف (برحسب میلیون مترمکعب) (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

ردیف	نوع مصرف آب	منابع آب سطحی	منابع آب زیرزمینی	نمک‌زدایی آب دریا	منابع خارج از استان	مجموع	درصد مصرف به تفکیک کاربری
۱	کشاورزی	۳۶۴	۴۵۰	۰	۰	۸۱۴	۷۷
۲	شرب	۰	۱۵	۲۶	۱۱۳	۱۵۴	۱۵
۳	فضای سبز شهری	ناچیز	۱۳	۰	۰	۱۳	۱
۴	صنعت و معدن	۱۲	۱۶	۴۲	۰	۷۰	۷
مجموع		۳۷۶	۴۹۴	۶۸	۱۱۳	۱۰۵۱	۱۰۰
درصد منابع تأمین آب		۳۶	۴۷	۶	۱۱	۱۰۰	

از ۱۵۴ میلیون مترمکعب آب شرب مصرفی استان بوشهر در سال، ۱۱۳ میلیون مترمکعب از خارج از استان (شامل ۲۵ میلیون مترمکعب از استان فارس و ۸۸ میلیون مترمکعب از استان کهگیلویه و بویر احمد) وارد می‌شود. به‌عبارت دیگر، تقریباً ۷۳ درصد از آب شرب استان متکی به منابع آبی استان‌های هم‌جوار است. لذا با توجه به وضعیت دارای تنش منابع آبی استان، یافتن راه‌کاری برای تأمین پایدار این منابع ضروری است.

۳- روش شناسی پژوهش

این پژوهش ازلحاظ هدف کاربردی و ازنظر روش، توصیفی-پیمایشی است. ابتدا از طریق مطالعات اسنادی و نشریات رسمی شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای شناخت اولیه در خصوص موضوع و ضرورت پژوهش و وضعیت عرضه و تقاضای آب در استان بوشهر به‌دست آمد. سپس با استفاده از مطالعه پیشینه پژوهش و مصاحبه با خبرگان، راه‌کارهای عملی سازگاری با کم‌آبی و معیارهای اجرایی‌نمودن این راه‌کارها جمع‌آوری و تدوین شد. در گام بعدی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، وزن معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی تعیین شد. سپس از تکنیک تاپسیس یا روش اولویت‌بندی ترجیحی که اساس آن تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل است برای اولویت‌بندی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی استفاده شد.

جامعه آماری پژوهش، کارشناسان و روسای ادارات شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای هستند که ۴۰ نفر از کارشناسان مربوطه به‌صورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرارگرفتند. اطلاعات جمعیت‌شناختی کارشناسان مشارکت‌کننده در پژوهش به‌شرح جدول ۸ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشتر افراد مشارکت‌کننده در پژوهش شاغل در شرکت مهندسی آب و فاضلاب (۶۵ درصد)، فوق‌لیسانس (۷۰ درصد)، دارای ۲۰ تا ۳۰ سال سابقه کاری مرتبط (۴۲/۵ درصد) هستند که در واحد طرح و توسعه (۳۵ درصد) مشغول به‌کار هستند.

جدول ۸- اطلاعات توصیفی و جمعیت شناختی کارشناسان خبره

حوزه تخصصی فعالیت		سابقه کاری		تحصیلات		محل استخدام	
واحد برنامه‌ریزی و بودجه	۱۲	تا ۱۰ سال	۸	لیسانس و کمتر	۷	شرکت مهندسی آب و فاضلاب	۲۶
واحد طرح و توسعه	۱۴	۱۰-۲۰ سال	۱۳	فوق‌لیسانس	۲۸	شرکت سهامی آب منطقه‌ای	۱۴
واحد حفاظت و بهره‌برداری	۹	۲۰-۳۰ سال	۱۷	دکتری	۵		
سایر واحدها	۵	بیش از ۳۰ سال	۲				

ابزار جمع‌آوری اطلاعات پژوهش پرسشنامه، با ساختار مقایسه زوجی عناصر موجود در یک خوشه است. برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از این پرسشنامه از محاسبه نرخ ناسازگاری استفاده می‌شود. ارزش‌گذاری پرسشنامه به‌شرح جدول ۹ است. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS22 و Expert Choice با درنظر گرفتن گام‌های ذیل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

۳-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ زیرا امکان درنظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد و گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد (قدسی‌پور، ۱۳۸۴). تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت گسترده‌ای برای ارزیابی تعدادی از معیارها و حل مسائل چند متغیره به‌کار می‌رود. این مدل به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا مسئله را در راستای رسیدن به هدف تعریف‌شده حل نمایند (Chang and et al., 2008). روش تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبات را آسان می‌کند. هم‌چنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد. پس از تعیین اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر، نباید نرخ سازگاری[1] نتایج از ۰/۱ بیشتر باشد (نرخ سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر میانگین شاخص سازگاری محاسبه می‌شود) (قدسی‌پور، ۱۳۸۴). مراحل اجرای تحلیل سلسله مراتبی به شرح ذیل است:

گام نخست: ساخت و ایجاد سلسله‌مراتب هدف: در این مرحله هدف کلی، معیارها و گزینه‌ها به‌صورت یک ساختار سلسله مراتبی ارائه می‌شود. هرچه تعداد عناصر موجود در یک سطح بیشتر باشد، احتمال وجود ناسازگاری در فرایند مقایسه و مراحل بعدی بیشتر خواهد بود. تعداد عناصر در هر سطح ترجیحاً بین ۷±۲ است (عادل‌آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۱). تعداد عناصر این مطالعه در سطوح دو و سه ساختار سلسله مراتبی، به تفکیک برابر با ۵ متغیر است.

گام دوم: تنظیم ماتریس مقایسات زوجی: در این مرحله،

اهمیت نسبی عناصر هر معیار نسبت به یکدیگر مقایسه و ماتریس مقایسات زوجی تشکیل شد، سپس ماتریس مذکور نرمال‌سازی و یا بی مقیاس شد. ماتریس نرمال شده از طریق تقسیم هر عنصر به جمع کل عناصر یک سطر به دست آمد. دامنه مقایسات زوجی به شرح جدول ۹ است.

جدول ۹- عدد ارجحیت پرسشنامه

ارزش	وضعیت	توضیح
۱	ترجیح یکسان	شاخص i و j اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	کمی مرجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهم‌تر است.
۵	خیلی مرجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهم‌تر است
۷	خیلی زیاد مرجح	گزینه یا شاخص i دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
۹	کاملاً مرجح	گزینه یا شاخص i مطلقاً مهم‌تر است و قابل قیاس با j نیست.
۶-۴-۲	بینابین	ارزش بینابین را نمایش می‌دهد، مثلاً ۸ بیانگر اهمیتی بیشتر از ۷ و کمتر از ۹ است.

گام سوم: بررسی سازگاری مقایسه‌ها: ازآن‌جا که مقایسه‌های زوجی، برمبنای قضاوت افراد انجام می‌شود، امکان ناسازگاری میان قضاوت‌ها وجود خواهد داشت. در این راستا با استفاده از کمیت $C.R$ (شاخص سازش) برای هر ماتریس می‌توان کمیت $C.I$ (نرخ ناسازگاری قضاوت‌ها) را مشخص نمود. شاخص ناسازگاری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۱)$$

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (۲)$$

که پارامتر n: تعداد شاخص یا اندازه ماتریس و λ_{max}: بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی هستند. مقادیر شاخص تصادفی سازگاری ($R.I$) به نسبت تعداد عناصر در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰- مقادیر شاخص تصادفی سازگاری ($R.I$) به نسبت تعداد عناصر

N	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

گام چهارم: اولویت‌بندی معیارها: در صورت سازگار بودن مقایسات، اولویت‌بندی معیارها مشخص خواهد شد و تأثیرگذارترین معیارها در تحقق هدف ساختار سلسله مراتبی تعیین خواهد شد.

۳-۲- تکنیک اولویت‌بندی با شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS)

الگوریتم تاپسیس در ابتدا توسط Hwang and Yoon (1981) ارائه شد. اساس این روش بدین‌صورت است که گزینه‌ها باید کمترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل مثبت[۲] (PIS) و حداکثر فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی[۳] (NIS) داشته باشند (Savari and Moradi, 2022) برای اجرای روش تاپسیس مراحل ذیل اجرا خواهد شد:

گام نخست: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و سپس نرمال‌کردن ماتریس حاصله با استفاده از رابطه (۳).

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n} f_{ij}^2}}, \quad i = 1,2,\dots,n \ and \ j = 1,2,\dots,m \quad (۳)$$

که f_{ij}: درایه ماتریس تصمیم‌گیری و $\sum_{j=1}^{n} f_{ij}^2$: مجموع مربعات درایه‌های آن ستون معیار هستند.

گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌شده موزون (V_{ij})؛ در این مرحله وزن هر یک از شاخص‌ها که در مرحله قبل با استفاده از روش AHP یا تحلیل سلسله مراتبی تعیین‌شد و درایه‌های قطر اصلی آن، وزن هریک از شاخص‌ها است و بقیه درایه‌ها صفر است. در ادامه با ضرب ماتریس وزن‌ها در ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌شده، ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌شده موزون به‌دست می‌آید.

$$V_{ij} = W_j \times r_{ij} \qquad i = 1,2,\dots,m \quad (۴)$$

که r_{ij}: ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده و W_j: ماتریس وزنی اختصاص داده شده به هریک از معیارها و V_{ij}: ماتریس بی‌مقیاس موزون شده هستند.

گام سوم: مشخص‌کردن گزینه ایده‌آل و گزینه ضد ایده‌آل با استفاده از روابط (۵) و (۶).

$$\text{ایده‌آل گزینه } \left(A_j^+\right) = \left\{V_j^+ \middle| V \text{ بردار بهترین مقدار هر شاخص در ماتریس}\right\} \quad (۵)$$

$$\text{ایده‌آل گزینه } (A_j^-) = \{\text{بردار بهترین مقدار هر شاخص در ماتریس } V \mid V_j^-\} \quad (۶)$$

که V_j^+: بهترین مقدار انتخاب شده در هر یک از ستون‌های ماتریس برای شاخص مثبت و V_j^-: بهترین مقدار انتخاب شده در هریک از ستون‌های ماتریس برای شاخص‌های منفی است که گزینه ایده‌آل مثبت (A_j^+) و گزینه ایده‌آل منفی (A_j^-) را ارائه خواهد نمود.

برای شاخص‌های مثبت، بهترین مقدار همان بیشترین مقدار است و بدترین مقدار، همان کمترین مقدار است. هم‌چنین برای شاخص‌های منفی، بهترین مقدار، کمترین مقدار و بدترین مقدار، بیشترین مقدار است.

گام چهارم: به‌دست آوردن فاصله هر گزینه از گزینه ایده‌آل (S_i^+) و گزینه ضدایده‌آل (S_i^-). فاصله گزینه i ام با ایده‌آل، با استفاده از روش اقلیدسی با استفاده از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{5}(V_{ij} - V_j^+)^2 \forall} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (۷)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{5}(V_{ij} - V_j^-)^2 \forall} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (۸)$$

که $(V_{ij} - V_j^+)^2$: مربع فاصله هر یک از درایه‌های ستون i و سطر j ام ماتریس از بهترین مقدار انتخاب شده در هریک از ستون‌های ماتریس برای شاخص مثبت و $(V_{ij} - V_j^-)^2$: مربع فاصله هریک از درایه‌های ستون i و سطر j ام از بهترین مقدار انتخاب شده در هریک از ستون‌های ماتریس برای شاخص‌های منفی هستند.

گام پنجم: محاسبه نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل. با استفاده از رابطه (۹)، شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه به‌دست می‌آید و در انتها براساس مقدار Cl_i^* رتبه‌بندی صورت می‌گیرد.

$$Cl_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)} \quad (۹)$$

که S_i^+: گزینه ایده‌آل و S_i^-: گزینه ضدایده‌آل و Cl_i^*: نسبت نزدیکی به گزینه ایده‌آل هستند.

۳-۳- معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی

راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی با استفاده از معیارهایی باید قابل‌مقایسه شوند. درواقع هدف اصلی از زیرمدل اولیه پژوهش پیش‌رو، تعیین کلیدی‌ترین معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی و ارزش‌گذاری اهمیت آن‌ها است. بدین‌منظور مجموعه عوامل مؤثر به پنج معیار شامل موارد ذیل تقسیم می‌شود:

- ✓ معیارهای اقتصادی (هزینه سرمایه‌ای، هزینه زمین، انرژی مصرفی، هزینه بهره‌برداری و نگهداری)؛
- ✓ معیارهای فنی-اجرایی (کارایی فرایند، سهولت اجرا، انعطاف‌پذیری، قابلیت اعتماد و بومی بودن تجهیزات)؛
- ✓ معیارهای اجتماعی (اثرات اجتماعی- فرهنگی و اشتغال‌زایی)؛ (دباغیان و همکاران، ۱۳۸۸)
- ✓ معیارهای محیط‌زیستی (درجه تصفیه مورد نیاز، ایمنی و توانایی تأمین استاندارد محیط‌زیستی پساب خروجی)؛
- ✓ معیارهای مدیریتی (نیاز به پرسنل متخصص، سهولت بهره‌برداری و نگهداری، دسترسی به تجهیزات) (کریمی و همکاران، ۱۳۸۹).

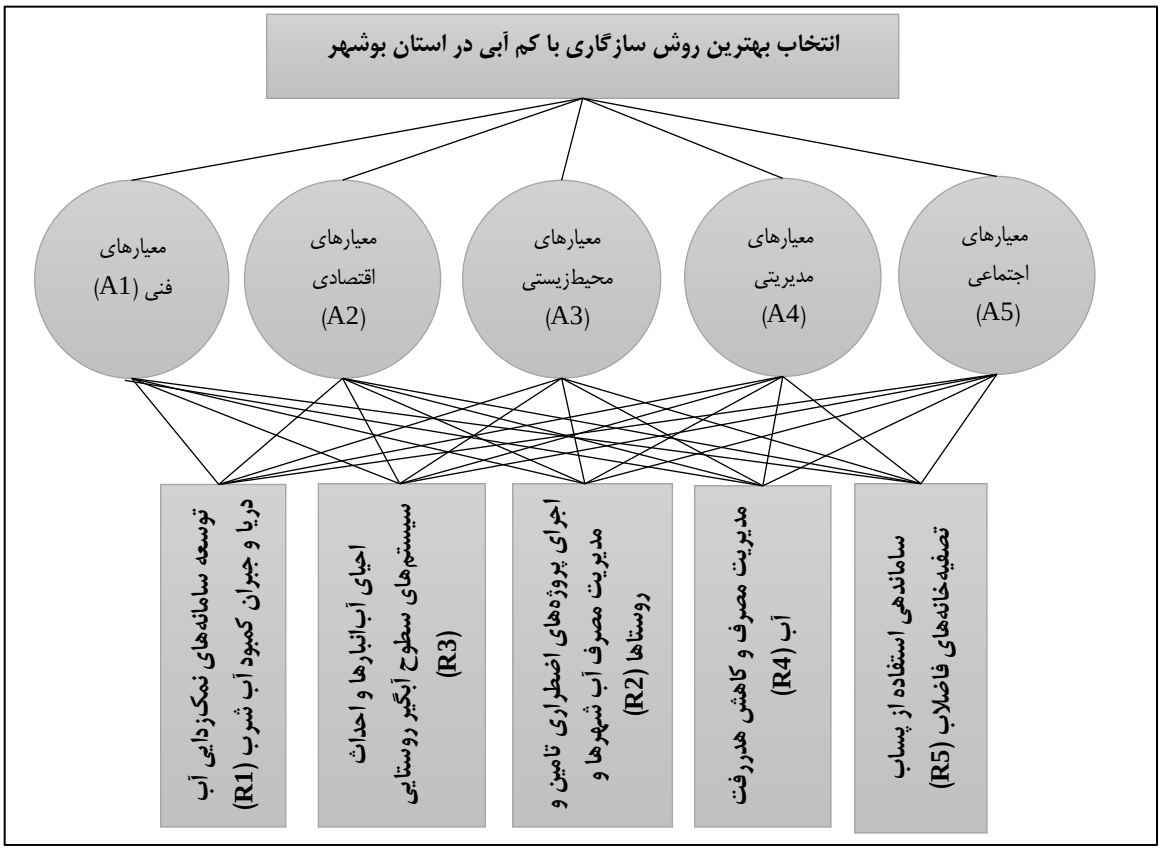
۳-۴- راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی

پس از بررسی وضعیت منابع آب استان و تقاضای مصرف آب در بخش‌های مختلف، راه‌کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی در استان بوشهر بررسی می‌شود. راه‌کارهای شناسایی‌شده براساس سند ملی سازگاری با کم‌آبی (برش استان بوشهر) و نیز مطالعه برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی عبارتند از:

- ✓ توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی آب دریا و جبران کمبود آب شرب (R1)
- ✓ اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها (R2)
- ✓ احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح آبگیر روستایی (R3)
- ✓ مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب (R4)
- ✓ ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (R5) (سازمان آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۹۷)

۳-۵- ساختار سلسله مراتبی در انتخاب مناسب‌ترین راه‌کار شناسایی‌شده برای سازگاری با کم‌آبی

در ساختار سلسله مراتبی این پژوهش سه سطح درنظر گرفته‌شده است. در سطح اول یا سطح هدف، انتخاب مناسب‌ترین راه‌کار برای سازگاری با کم‌آبی مدنظر است. سطح دوم عوامل مؤثر بر انتخاب بهترین راه‌کار سازگاری با کم‌آبی هستند که در ادامه تحت‌عنوان معیارها، شامل پنج معیار معرفی‌شده است. در سطح سوم نیز پنج راه‌کار برای سازگاری با کم‌آبی شناسایی‌شده است. شکل ۱، ساختار سلسله مراتبی پژوهش را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی

۴- یافته‌های پژوهش

پس از شناسایی معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کاربرگ‌های مقایسات زوجی تدوین و در اختیار کارشناسان حوزه آب و فاضلاب و منابع آب قرارگرفت. نتایج تحلیل مقایسات زوجی بین معیارها در جدول ۱۱ به نمایش درآمده است.

جدول ۱۱- نتایج نرمال شده اهمیت گذاری معیارها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

معیار	معیارهای فنی (A1)	معیارهای اقتصادی (A2)	معیارهای محیطزیستی (A3)	معیارهای مدیریتی (A4)	معیارهای اجتماعی (A5)	میانگین
معیارهای فنی (A1)	۰/۳۷۸	۰/۴۸۵	۰/۲۸۹	۰/۲۲۶	۰/۲۹۲	۰/۳۳۴
معیارهای اقتصادی (A2)	۰/۲۴۲	۰/۳۱۰	۰/۵۲۱	۰/۴۰۶	۰/۲۸۰	۰/۳۵۲
معیارهای محیطزیستی (A3)	۰/۱۵۱	۰/۰۶۹	۰/۱۱۶	۰/۲۳۵	۰/۲۳۸	۰/۱۶۲
معیارهای مدیریتی (A4)	۰/۱۵۱	۰/۰۶۹	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰	۰/۱۲۹	۰/۰۹۷
معیارهای اجتماعی (A5)	۰/۰۷۹	۰/۰۶۷	۰/۰۳۰	۰/۰۴۳	۰/۰۶۱	۰/۰۵۶

همان‌گونه که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود، به‌ترتیب معیارهای اقتصادی (۰/۳۵۲)، معیارهای فنی (۰/۳۳۴)، معیارهای محیطزیستی (۰/۱۶۲)، معیارهای مدیریتی (۰/۰۹۷) و معیارهای اجتماعی (۰/۰۵۶) دارای بیشترین اهمیت در تعیین راه‌کارهای مؤثر بر سازگاری با کم‌آبی هستند. لذا بردار وزن معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای شناسایی‌شده سازگاری با کم‌آبی به‌صورت W(۰/۳۳۴، ۰/۳۵۲، ۰/۱۶۲، ۰/۰۹۷، ۰/۰۵۶) است. پس از به‌دست آمدن بردار وزن معیارها، برای اطمینان از صحت محاسبات، نسبت به

محاسبه شاخص سازگاری با استفاده از رابطه (۲) اقدام شد و مقدار شاخص ناسازگاری معادل با ۰/۰۷۷ به‌دست آمد. با توجه به این‌که کمیت به‌دست‌آمده از ۰/۱ کوچک‌تر است، لذا ثبات ماتریس پذیرفته می‌شود.

پس از به‌دست آمدن بردار وزن معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی، برای اجرای تکنیک تاپسیس، ماتریس تصمیم‌گیری معیار-راه‌کار تشکیل شد و کارشناسان راه‌کارها را با توجه به معیارها مقایسه کردند. جدول ۱۲ ماتریس نرمال‌شده موزون را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۲- ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده موزون

معیار	معیارهای فنی (A1)	معیارهای اقتصادی (A2)	معیارهای محیط‌زیستی (A3)	معیارهای مدیریتی (A4)	معیارهای اجتماعی (A5)
راه‌کار اول (R1)	۰/۱۰۷۱	۰/۱۰۶۷	۰/۲۱۵۰	۰/۰۴۹۹	۰/۰۸۸۹
راه‌کار دوم (R2)	۰/۱۸۷۰	۰/۱۸۶۳	۰/۲۰۴۷	۰/۱۱۰۵	۰/۲۷۰۰
راه‌کار سوم (R3)	۰/۱۷۰۴	۰/۳۱۱۳	۰/۳۴۲۲	۰/۵۴۵۸	۰/۲۷۰۰
راه‌کار چهارم (R4)	۰/۴۱۹۶	۰/۳۲۹۳	۰/۱۱۶۱	۰/۱۹۵۴	۰/۲۷۴۹
راه‌کار پنجم (R5)	۰/۱۱۵۹	۰/۰۶۶۴	۰/۱۲۲۰	۰/۰۶۸۴	۰/۰۹۶۳

پس از به‌دست آمدن ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌شده موزون، با استفاده از روابط (۵) و (۶) راه‌کارهای ایده‌آل و ضد ایده‌آل تعیین و فاصله هر گزینه از راه‌کارهای ایده‌آل محاسبه شد. درنهایت شاخص نزدیکی نسبی هر راه‌کار با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد که در جدول ۱۳ نمایش داده شده است.

جدول ۱۳- شاخص نزدیکی و رتبه‌بندی معیارها

رتبه	ضریب	راه‌کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی
۱	۰/۹۵۰۷	توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها (R1)
۲	۰/۷۶۲۹	مدیریت مصرف و کاهش هدر رفت آب (R4)
۳	۰/۷۵۹۶	اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها (R2)
۴	۰/۷۵۶۸	احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح آبگیر روستایی (R3)
۵	۰/۶۸۴۴	ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (R5)

جدول ۱۳ راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی را با استفاده از کمیت شاخص نزدیکی نمایش می‌دهد. از بین راه‌کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی، توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها در رتبه اول، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب در اولویت دوم و اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها در اولویت سوم، احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح آبگیر روستایی در اولویت چهارم و ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در اولویت آخر قرار می‌گیرد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سازگاری با کم‌آبی به‌عنوان چالشی اساسی در مواجهه با تغییرات آب و هوایی شناخته شده است. برای شناسایی و اولویت‌بندی راه‌کارهای موثر در این زمینه، ابتدا نیاز است تا سیاست‌ها و استراتژی‌های منطقه‌ای و ملی براساس راه‌کارهای مبتنی بر داده‌های علمی و اقتصادی تعیین شود. به‌کارگیری این راه‌کارها نه‌تنها باعث می‌شود که منابع آب کمیاب حفظ شوند، بلکه نقش مهمی در حفظ محیط‌زیست و پایداری اقتصادی منطقه نیز دارند. سازگاری با تنش‌های آبی برای حمایت از معیشت، تضمین تداوم فعالیت‌های اقتصادی و تأمین امنیت از اهمیت بسیاری برخوردار است. انتخاب روش مناسب برای سازگاری با کم‌آبی به‌علت وجود پارامترهای و عوامل تأثیرگذار متنوع به‌عنوان یکی از مسائل پیچیده مطرح است. با این‌حال، نوع و میزان تأثیر راهبردهای سازگاری با کم‌آبی در مناطق مختلف مبتنی بر بسترهای اجتماعی-اقتصادی آنان متفاوت است. شناسایی و طبقه‌بندی روش‌های سازگاری مبتنی بر داده‌های اجربی می‌تواند به طراحی و اجرای مشوق‌ها، قوانین و یا اصلاحات نهادی کمک کند. از جمله راه‌کارهای عمده به‌منظور سازگاری با کم‌آبی می‌توان به مدیریت مصرف منابع آبی، کشاورزی پایدار، استفاده اقتصادی از آب،

توسعه منابع آبی متنوع، آموزش و آگاهی بخشی عمومی اشاره نمود. اتخاذ راه‌کار مناسب نیازمند تدابیر جدی و هماهنگ از سوی دولت‌ها، جوامع محلی و صاحبان صنایع است.

در این پژوهش ضمن مطالعه وضعیت منابع و مصارف آبی استان بوشهر و شناسایی راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی در استان، یک روش تصمیم‌گیری جامع مبتنی بر تکنیک‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس نیز بررسی و ارائه شد. جامعه آماری پژوهش، کارشناسان و روسای ادارات شرکت‌های آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای بودند که ۴۰ نفر از کارشناسان مربوطه به‌صورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرارگرفتند. اطلاعات جمعیت شناختی کارشناسان مشارکت‌کننده در پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر افراد مشارکت‌کننده در پژوهش شاغل در شرکت مهندسی آب و فاضلاب (۶۵ درصد)، فوق‌لیسانس (۷۰ درصد)، دارای ۲۰ تا ۳۰ سال سابقه کاری مرتبط (۴۲/۵ درصد) هستند که در واحد طرح و توسعه (۳۵ درصد) مشغول به‌کار هستند. روند اجرای پژوهش بدین‌صورت بود که نخست معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی شناسایی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شدند. سپس با استفاده از تکنیک تاپسیس و درنظر گرفتن وزن معیارهای مؤثر بر راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی، کارشناسان مذکور اقدام به رتبه‌بندی راه‌کارهای شناسایی‌شده نمودند. با توجه به یافته‌های پژوهش به‌ترتیب معیارهای اقتصادی (۰/۳۵۲)، معیارهای فنی (۰/۳۳۴)، معیارهای محیط‌زیستی (۰/۱۶۲)، معیارهای مدیریتی (۰/۰۹۷) و معیارهای اجتماعی (۰/۰۵۶) دارای بیشترین اهمیت در تعیین راه‌کارهای مؤثر بر سازگاری با کم‌آبی هستند و به‌ترتیب توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها (با ضریب ۰/۹۵۰۷)، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب (با ضریب ۰/۷۶۲۹)، اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها (با ضریب ۰/۷۵۹۶)، سه راه‌کار با اولویت بالا در سازگاری با کم‌آبی هستند. پیشنهادها در خصوص راه‌کارهای سازگاری با کم‌آبی در استان بوشهر به‌شرح ذیل ارائه می‌شود:

با توجه به یافته‌های پژوهش، از بین راه‌کارهای مقابله و سازگاری با کم‌آبی، توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌شیرین‌کن‌ها به‌لحاظ اهمیت در رتبه اول قراردارد. اگرچه توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی هزینه‌بر و زمان‌بر است، اما با توجه به لزوم حذف تدریجی آب انتقالی از استان فارس، تخریب کیفیت منابع داخلی، افزایش جمعیت مناطق ساحلی و نیز موقعیت اقلیمی گرم و خشک این نواحی، به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مطمئن برای استان‌های ساحلی به‌عنوان اصلی‌ترین گزینه تأمین منابع آب شرب مطرح هستند. در راستای تحقق این راه‌کار، هم‌اکنون دو سایت نمک‌زدایی آب دریا هر یک به ظرفیت تولید روزانه ۱۰ هزار مترمکعب در شهرهای کنگان و بوشهر برای جبران بخشی از کمبود آب شهری فعال است و سه واحد آب‌شیرین‌کن به ظرفیت روزانه ۷۰ هزار مترمکعب در دست‌ساخت و چندین طرح توسعه یا احداث به ظرفیت روزانه ۸۲ هزار مترمکعب در دست مطالعه و برنامه‌ریزی برای ساخت هستند.

راه‌کار دوم سازگاری با کم‌آبی، مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب در شبکه توزیع است که در چهار محور عملیاتی شامل کاهش هدررفت واقعی (نشت شبکه توزیع)، کاهش هدررفت ظاهری (انشعابات غیرمجاز)، مدیریت مصرف مشترکین و اطلاع‌رسانی و آموزش همگانی دسته‌بندی می‌شود. فرسودگی شبکه ناشی از قدمت بالای این شبکه‌ها و تأسیسات مربوطه، عدم توزیع فشار در شبکه‌های توزیع، نبود یا خرابی کنتورها و تجهیزات اندازه‌گیری، سرریز شدن آب از مخازن ذخیره آب مشترکین و عدم استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف و علاوه‌بر آن یارانه‌ای بودن نرخ آب‌بها از جمله دلایل مصرف خارج از الگوی آب در استان بوشهر است. نوسازی شبکه توزیع، نشت‌یابی و رفع نشت، تعویض کنتورهای فرسوده و تبدیل انشعابات غیرمجاز به مجاز، کنترل مصرف مشترکین، توزیع و نصب شناورهای مخزن مشترکین، توزیع و نصب تجهیزات کاهنده مصرف و تدوین برنامه‌های رادیویی-تلویزیونی، برنامه‌های فرهنگی، جشنواره، مطالعات اجتماعی از جمله راه‌کارهای عملیاتی، برای تحقق مدیریت مصرف و کاهش هدررفت است.

راه‌کار سوم سازگاری با کم‌آبی، اجرای پروژه‌های اضطراری تأمین و مدیریت مصرف آب شهرها و روستاها است. خشکسالی‌های پیاپی، تغییر کیفیت برخی منابع آبی و افت سطح ایستابی و کاهش آبدهی منابع موجود مانع از برداشت و تأمین آب معادل ظرفیت اسمی هریک از منابع موجود شده است. به‌منظور تثبیت حجم برداشت فعلی و یا رساندن ظرفیت برداشت و استحصال آب به ظرفیت اسمی و هم‌چنین فراهم شدن استفاده از منابع محلی، به‌خص‌وص مهار رواناب‌های فصلی و استفاده به‌هنگام از آن‌ها با اصلاح برخی مشخصه‌های کیفی از طریق شیرین‌سازی و یا تصفیه فیزیکی، اجرای طرح‌های اضطراری آب شرب موردنیاز است. از جمله آن می‌توان به راه‌کارهای عملیاتی از جمله حفر و کف شکنی و تجهیز چاه‌ها، اجرای طرح نکاشت، احداث بندهای ذخیره‌ای، اجرای خطوط آب‌رسانی از چاه‌ها و سدها اشاره نمود.

راه‌کار چهارم، احیای آب‌انبارها و احداث سامانه‌های سطوح

آبگیر روستایی است. استفاده از آب باران نسبت به سایر منابع، دارای مزایایی از جمله رایگان بودن، عدم نیاز به خطوط انتقال و شبکه توزیع، کنترل جریان‌های سیلابی در مناطقی که بارش‌های رگباری و سیل‌آسا دارند، جلوگیری از انتقال و پخش آلودگی در معابر شهری و روستایی است. در راستای استفاده بهینه از این منبع آب و به‌عنوان راه‌کاری برای رفع مشکلات ناشی از کمبود آب در استان بوشهر، احیای آب‌انبارها پیشنهاد می‌شود. جمع‌آوری آب باران با استفاده از سطوح آبگیر در برخی از نقاط دنیا از جمله استرالیا و کشورهای شرق آسیا غالباً با هدف مصرف در بخش غیرشرب خانگی، آبیاری فضای سبز، آبیاری گیاهانی که نیاز آبی کمی دارند و در کشت‌های گلخانه‌ای انجام می‌شود.

راه‌کار پنجم، ساماندهی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است. سالانه قریب ۱۵ میلیون مترمکعب پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرهای بوشهر، گناوه و دیلم به محیط‌زیست پیرامون تخلیه و ضمن ایجاد محیطی نازیبا و آلاینده و مزاحم برای ساکنین هم‌جوار از دسترس خارج می‌شود. استفاده از قابلیت‌های پساب مذکور در آبیاری فضای سبز شهری، باغ شهرها و خانه باغ‌های پیرامون، تولید برخی محصولات کشاورزی، استفاده در واحدهای صنعتی مستقر در شهرک‌های صنعتی و منطقه ویژه اقتصادی و تصفیه تکمیلی و به‌کارگیری آن در شهرک شیلاتی دلوار و حتی توسعه زراعت چوب و کشت‌های مکانیزه و گلخانه‌ای در اراضی زراعی کم بازده و ملی به‌عنوان یکی از برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی پیشنهاد می‌شود.

۶- پی‌نوشت

1- Consistency Ratio (CR)
2- Positive Ideal Solution
3- Negative Ideal Solution

۷- مراجع

انصاری، ث.، مساح بوانی، ع.، و باقری، ع.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی راه‌کارهای سازگاری با تغییر اقلیم براساس نشانگرهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی امنیت آبی"، *تحقیقات منابع آب*، ۱۴(۵)، ۲۳۷-۲۵۳.

آذر، ع.، و رجب‌زاده، ع.، (۱۳۸۱)، *تصمیم‌گیری کاربردی*، چاپ اول، انتشارات نگاه دانو، تهران.

آستانه، م.، تقی‌پور، ف.، و دوازده امامی، ح.، (۱۳۹۹)، "ارائه مدل مبنی بر استراتژی رسانه به‌منظور سازگاری با کم‌آبی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۳)، ۲۶-۴۲.

اداره کل هواشناسی استان بوشهر، (۱۴۰۱)، "آمارنامه‌های اداره پیش‌بینی و تحقیقات اقلیم و هواشناسی کاربردی استان بوشهر"، بوشهر.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان بوشهر، (۱۳۹۷)، "برنامه عملیاتی سازگاری با کم‌آبی استان بوشهر"، بوشهر.

پاکزاد، ز.، رامشت، م.، و گندم‌کار، ا.، (۱۳۹۷)، "سهم منابع آبی ایران از سامانه‌های جوی"، *فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۹(۶۹)، ۱۵۳-۱۶۴.

دباغیان، م.، هاشمی، س.، ح.، و عبادی، ت.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی فنی اقتصادی و زیست‌محیطی روش‌های تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری به‌روش AHP"، *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۱(۳)، ۱۱۵-۱۰۷.

زبیدی، ط.، یعقوبی، ج.، و یزدان‌پناه، م.، (۱۴۰۰)، "بررسی روش‌های سازگاری روستاییان با کم‌آبی در استان خوزستان: کاربرد نظریه بنیانی"، *پژوهش‌های روستائی*، ۱۲(۲)، ۲۴۶-۲۵۷، https://doi.org/10.22059/jrur.2020.302235.1497

عبداله‌زاده، غ.، و شریف‌زاده، م.، (۱۳۹۹)، "تحلیل انتظارهای ذی‌نفعان در برنامه سازگاری با کم‌آبی استان گلستان"، *فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت آموزش کشاورزی*، ۵۴(۳)، ۱۶۰-۱۷۵.

عطایی، پ.، و ایزدی، ن.، (۱۳۹۳)، "تحلیل مسئولیت‌های تشکل‌های آب‌بران و زمینه‌یابی موانع ایجاد آن از دیدگاه بهره‌برداران"، پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۴)، ۷۳۷-۷۴۸.

کریمی، ع.، مهردادی، ن.، هاشمیان، ج.، نبی بیدهندی، غ.، و توکلی‌مقدم، ر.، (۱۳۸۹)، "انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP"، *فصلنامه آب و فاضلاب*، ۲۱(۴)، ۱-۱۲.

لطیفی، م.، ملکیان، آ.، مقدم نیا، ع.، آذرنیوند، ح.، و رحیم صفوی، ی.، (۱۴۰۱)، "الگوی کاهش مخاطرات کم‌آبی حوضهٔ هیدرولوژیک دریاچهٔ ارومیه از طریق سازگاری و مدیریت راهبردی"، *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۹(۲)، ۱۸۹-۲۰۴، https://doi.org/10.22059/jhsci.2022.347820.740

نصراللهی، ا.، (۱۳۹۴)، *مدیریت پوشش خبری در بحران، در رسانه‌های حرفه‌ای*، انتشارات همشهری، تهران، ایران.

نوروزی، م.، و زلفی باوریانی، م.، (۱۳۸۹)، "تعیین آب مورد نیاز خرما در روش آبیاری قطره ای در استان بوشهر"، *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، ۲۴(۱)، ۲۱-۳۰.

هرندی، م.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی ساختاری مصوبه تشکیل کارگروه

سازگاری با کم‌آبی"، *تحقیقات منابع آب*، ۱۴(۴)، ۲۸۱-۳۳۸.

Hartley, T.W., (2006), "Public perception and participation in water resource", *Desalination*, 187(1-3), 115-126, https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.072.

Javadinejad, S., Dara, R., and Jafary, F., (2021), "Climate change simulation and impacts on extreme events of rainfall and storm water in the Zayandeh Rud Catchment", *Resources Environment and Information Engineering*, 3(1), 100-110, https://doi.org/10.25082/REIE.2021.01.001.

Savari, M., Moradi, M., (2022), "The effectiveness of drought adaptation strategies in explaining the livability of Iranian rural household ds", *Habitat International*, 124, 102560, https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102560.

Zarepour Moshizi, M., Yousefi, A., and Amini, A.M., (2023), "Rural vulnerability to water scarcity in Iran: An integrative methodology for evaluating exposure, sensitivity and adaptive capacity", *GeoJournal*, 88, 2121-2136. https://doi.org/10.1007/s10708-022-10726-0.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.