Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Summer 2024: Vol 2, Issue 2, 127-140
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1184789

Research Article

Analysis and evaluation of key indicators in technical and management strategies in water systems with emphasis on sustainable water resources management

Sadroddin Etesami

PhD in Civil Engineering, Lecturer Payam Noor University, Tehran, Iran.

* *Corresponding author email*: sadretesami@gmail.com

© The Author(s) 2024

Received: 22 Sep 2024 Accepted: 23 Nov 2024 Published:24 Dec 2024

Abstract

Water, as a critical element for economic development, demands effective management. In arid and semi-arid regions, this essential resource is a limiting factor for agriculture, where competition for its acquisition is intense. Neglecting this issue can result in wasted capital and environmental degradation. In Iran, water scarcity has raised serious concerns, with the agricultural sector being the largest consumer. Effective innovations and policies are necessary for sustainable conservation and use of water resources. This research aims to identify key factors in the technical strategies of water systems focused on optimal water management. By reviewing theoretical foundations and prior research, essential dimensions and components related to water systems were identified. These dimensions were weighted and prioritized using the best-worst method, along with a survey of twenty university professors specializing in civil engineering with a focus on water resources (based on prior studies). The study highlights the crucial factors in technical strategies for optimal water management. Results indicate that maintaining water quality, conserving resources, and controlling water pollution are paramount. Water quality is essential for public health and ecosystem protection. Additionally, water conservation aids in reducing waste and optimizing resources to mitigate water shortages. Finally, controlling pollution is fundamental for environmental sustainability, supporting the effective functioning of water systems.

Keywords: Water system management, Strategy, Modelling, Best-worst method

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
تابستان ۱۴۰۳، دوره دو، شماره۲، ۱۴۰-۱۲۷
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1184789

مقاله پژوهشی

تحلیل و ارزیابی شاخص‌های اساسی در راهبردهای فنی و مدیریتی در سامانه‌های آبی با تأکید بر مدیریت پایدار منابع آب

صدرالدین اعتصامی

دکتری مهندسی عمران، مدرس دانشگاه پیام نور، تهران ، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: sadretesami@gmail.com

© The Author(s) 2024

دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳ چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

چکیده

آب، به عنوان یک عنصر حیاتی برای توسعه اقتصادی، نیازمند مدیریت بهینه است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، این منبع کلیدی محدودکننده کشاورزی است و رقابت برای دستیابی به آن شدید است. بی‌توجهی به این مسئله می‌تواند منجر به هدررفت سرمایه‌ها و تخریب زیست‌محیطی شود. در ایران، کمبود آب نگرانی‌های جدی ایجاد کرده و بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آن است. به‌کارگیری نوآوری‌ها و سیاست‌های موثر برای صرفه‌جویی و بهره‌وری پایدار از منابع آبی ضرورت دارد. هدف این پژوهش شناسایی عوامل کلیدی در راهبردهای فنی سامانه‌های آبی با تاکید بر مدیریت بهینه آب است. با مرور مبانی نظری و پیشینه پژوهش، ابعاد و مولفه‌های کلیدی مرتبط با سامانه‌های آبی شناسایی شده و با استفاده از روش بهترین- بدترین(BWM) و نظرسنجی از بیست نفر از اساتید دانشگاهی رشته عمران گرایش آب که جامعه آماری پژوهش را تشکیل داده‌اند(براساس تحقیقات قبلی)، به وزن‌دهی و اولویت‌بندی این مولفه‌هاپرداخته شد. پژوهش حاضر به شناسایی عوامل کلیدی در راهبردهای فنی سامانه‌های آبی بر مدیریت بهینه آب پرداخته و نتایج نشان داد که حفظ کیفیت آب، صرفه‌جویی در مصرف منابع و کنترل آلودگی‌های آبی از اهمیت بالایی برخوردارند. حفظ کیفیت آب به‌عنوان عامل حیاتی برای تأمین سلامت عمومی و محافظت از محیط زیست شناخته شده است. همچنین، صرفه‌جویی در مصرف آب به کاهش هدررفت و بهینه‌سازی منابع برای مقابله با کمبود آب کمک می‌کند. در نهایت، جلوگیری از کنترل آلودگی در پایداری محیطی به‌منظور حمایت از عملکرد مؤثر سامانه‌های آبی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت سامانه‌آبی، راهبرد، مدل‌سازی، روش بهترین- بدترین

۱- مقدمه

آب در دنیای امروز به عنوان یک کالای اقتصادی-اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. قیمت آب، مشابه سایر کالاهای اقتصادی، نشان‌دهنده کمیابی آن است و آگاهی از ارزش اقتصادی آب در بخش‌های مختلف می‌تواند نقشی تعیین‌کننده در مدیریت تقاضای آن ایفا کند. به عنوان مثال، اگر ارزش آب کمتر از واقعیت برآورد شود، تخصیص بهینه منابع آب بین مصارف مختلف مختل خواهد شد و این امر می‌تواند به مشکلات جدی در تأمین نیازهای آب شرب و کشاورزی منجر شود. از سوی دیگر، در صورتی که ارزش آب بیش از حد تعیین گردد، این وضعیت می‌تواند به رفاه اجتماعی آسیب بزند و فشار مالی غیرقابل تحملی براقشار آسیب‌پذیر جامعه وارد کند. این فشار می‌تواند مصرف آب را برای این گروه‌ها با چالش‌های جدی مواجه سازد (Asadi et al., 2018). ایران به ویژه با چالش‌های متعددی نظیر کم‌آبی، خشکسالی‌های متناوب و سیل‌های ویرانگر مواجه است. این مشکلات به همراه رشد جمعیت و تخریب‌های ناشی از آن، نیاز به محصولات کشاورزی و دامی را افزایش داده است. در این راستا، محدودیت منابع آب و خاک حاصلخیز، مسئله کم‌آبی را در بخش کشاورزی تشدید کرده و کشاورزی به بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کشور تبدیل شده است. برای بهره‌برداری بهینه از منابع آبی، ضروری است که راهکارهای علمی ومدیریتی مناسبی ارائه شود(Piri & Heydari, 2017). بر اساس آمار ارائه‌شده در پنجمین کنفرانس بین‌المللی اقتصاد کشاورزی آسیا، پیش‌بینی می‌شود ایران پس از سال ۲۰۵۰ میلادی به یکی از کشورهای تشنه دنیا تبدیل شود (Acey et al., 2019). در کشورهایی که دسترسی به منابع آب سطحی محدود و بارش‌ها کم و نامنظم است، آب‌های زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردارند. اما این منابع به دلیل برداشت بیش از حد مجاز و کنترل آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی تحت تهدید جدی قرار دارند. این وضعیت نه تنها به امنیت غذایی آسیب می‌زند، بلکه پیشرفت اقتصادی و توسعه پایدار کشورها را نیز با چالش روبه‌رو می‌کند (Nazari & Judoi, 2014). تحقیقات نشان می‌دهد که در بسیاری از کشورها آب‌های زیرزمینی طی چند سال اخیر دچار افت کیفی قابل ملاحظه‌ای شده‌اند(Jeong, 2001; Elhatip et al., 2003). وابستگی بخش زیادی از حیات و تمدن بشر به آب‌های زیرزمینی و همزمان افت کیفی و کمی این منابع، حساسیت جوامع را نسبت به مسائل مرتبط با آب‌های زیرزمینی افزایش داده است. به همین دلیل، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی به عنوان یک امر ضروری مطرح می‌شود (Nazari & Judoi, 2014). در این راستا، نیاز به توسعه فن‌آوری‌های نوین و روش‌های مدیریت پایدار منابع آب احساس می‌شود. استفاده از سامانه‌های آبیاری هوشمند، بهبود روش‌های بازیافت آب و ارتقاء فرهنگ مصرف بهینه آب می‌تواند به کاهش فشار بر منابع آب کمک کند. همچنین، آموزش و آگاهی‌بخشی به جوامع محلی در خصوص اهمیت حفظ منابع آب و روش‌های مدیریت آن، از دیگر اقداماتی است که می‌تواند به بهبود وضعیت موجود کمک کند. برای مدیریت بهینه این منابع، علاوه بر آگاهی از خصوصیات فیزیکی آبخوان و چرخه جریان آب، آگاهی از وضعیت کیفیت آب سفره نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. (Ani et al., 2024) پژوهشی با عنوان ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر برای تأمین آب شامل بررسی مقایسه‌ای ابتکارات آفریقا و ایالات متحده انجام دادند. این پژوهش به بررسی ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سامانه‌های تأمین آب به‌عنوان راهکاری کلیدی برای چالش‌های جهانی مانند تغییرات اقلیمی و امنیت آب پرداخت. با مقایسه ابتکارات در کشورهای آفریقایی و ایالات متحده، اهمیت سامانه‌های پایدار و کارآمد مورد تأکید قرار گرفت. این پژوهش چالش‌ها و فرصت‌های فن‌آوری، مالی و زیرساختی را بررسی کرده و به پایداری و مقیاس‌پذیری ابتکارات انرژی تجدیدپذیر در بخش آب پرداخت. در پایان، بر ضرورت همکاری بین‌المللی و نوآوری برای تحقق اهداف توسعه پایدار، به‌ویژه در دسترسی به آب و انرژی پاک، تأکید کرده است. (Olatunde et al., 2024) پژوهشی با عنوان بررسی سامانه‌های مدیریت هوشمند آب از آفریقا و ایالات متحده انجام دادند. این پژوهش به بررسی سامانه‌های مدیریت هوشمند آب در آفریقا و ایالات متحده پرداخت و بر توسعه و تأثیرات آن‌ها تمرکز کرد. چارچوب‌های نظری شامل ادغام سامانه‌های سایبر- فیزیکی و اصول توسعه پایدار مورد بررسی قرار گرفت. نوآوری‌های فن‌آوری مانند اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی در مدیریت آب تحلیل شدند و تأثیرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی این سامانه‌ها، از

جمله صرفه‌جویی در آب و دسترسی بهتر به آب سالم، مورد تأکید قرار گرفت. چالش‌های فنی، مالی و قانونی نیز به‌طور انتقادی بررسی گردید و پژوهش بر ضرورت ادغام فن‌آوری، سیاست و مشارکت جامعه در مدیریت هوشمند آب تأکید کرد و خواستار تحقیقات و همکاری‌های بیشتر شد.

(Obiuto et al., 2024) پژوهشی با عنوان مهندسی شیمی و اقتصاد دایره‌ای آب شامل شبیه‌سازی برای مدیریت پایدار آب در سامانه‌های زیست‌محیطی انجام دادند. این پژوهش به بررسی نقش مهندسی شیمی در پیشبرد اقتصاد آب گردشی و مدیریت پایدار آب پرداخت. مفهوم اقتصاد آب گردشی بر استفاده کارآمد و بازیابی منابع آب تأکید نمود. شبیه‌سازی‌های محاسباتی در مهندسی شیمی به تحلیل چرخه آب و شناسایی راهبردهای بهینه برای تخصیص منابع، کنترل آلودگی و حفظ محیط زیست کمک کردند. همچنین، فرآیندهای تصفیه فاضلاب و فن‌آوری‌های نوآورانه مانند فیلتراسیون غشایی و الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفتند. ادغام این شبیه‌سازی‌ها در اقتصاد آب گردشی، راهی امیدوارکننده برای مدیریت آب و تضمین پایداری سامانه‌های محیطی ارائه داد.

(Abatan et al., 2024) تحقیقی با عنوان چارچوب‌های شبیه‌سازی یکپارچه برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌های شیمیایی در سامانه‌های آبی انجام دادند. این پژوهش به بررسی تهدیدات محیط‌زیستی ناشی از آلاینده‌های شیمیایی در محیط زیست‌های آبی پرداخت و نیاز به درک دینامیک آلاینده‌ها و پیامدهای اکولوژیکی آن‌ها را برجسته کرد. چارچوب‌های شبیه‌سازی یکپارچه به‌عنوان ابزارهای مؤثر برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی این آلاینده‌ها مطرح شدند. این چارچوب‌ها شامل دانش چندرشته‌ای و شبیه‌سازی تعاملات پیچیده بین فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بودند. آن‌ها قادر به پیش‌بینی الگوهای انتشار آلاینده‌ها تحت شرایط مختلف و شناسایی منابع آلاینده بحرانی شدند. همچنین، کاربرد این چارچوب‌ها در ارزیابی تأثیرات ناشی از تخلیه‌های صنعتی و رواناب‌های کشاورزی و شهری مؤثر بود. در نهایت، پیشرفت‌های مداوم در تکنیک‌های مدل‌سازی توانست به بهبود قابلیت‌های این چارچوب‌ها در مدیریت محیط‌زیست کمک کند و تحلیل دقیق عوامل کلیدی در راهبردهای فنی این سامانه‌ها را ضروری ساخت.

(Motaghi & Qarabeigi, 2018) پژوهشی را با استفاده از روش پیمایشی و تحلیل ماتریس انجام دادند که راهبردهایی برای مدیریت بهینه آب در ایران طراحی کرد. این پژوهش شامل ۵۰ نفر از اعضای هیئت علمی جغرافیا در سه دانشگاه معتبر بود. یافته‌ها نشان دادند که مدیریت آب در کشور از نظر عوامل درونی و بیرونی ضعیف بوده است. راهبردهای پیشنهادی شامل محلی‌سپاری، مداخله مدیریتی برای کاهش سیاسی‌سازی، بهبود مدیریت منابع انسانی و یکپارچه‌سازی سازمان‌ها بودند.

(Khoshmanesh et al., 2017) پژوهشی درباره کنترل و کاهش کنترل آلودگی منابع آب کشور انجام دادند. در این پژوهش، ابتدا منابع آب از نظر کمیت و کیفیت بررسی شدند و سپس چشم‌انداز و رسالت سازمان تعیین گردید. نتایج نشان دادند که راهبردهای ملی در پنج محور اصلی شامل قوانین و مقررات، نیروی انسانی، منابع مالی، سخت‌افزار و تجهیزات و آگاهی‌رسانی و مشارکت مردمی هستند. (Kaaba et al., 2017) در پژوهشی به ارزیابی ریسک کنترل آلودگی منابع آب دشت گیسور در جنوب خراسان رضوی پرداختند. از روش‌های آماری چند متغیره، از جمله ضریب همبستگی و نمودار خوشه‌ای استفاده کردند که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک عناصر اصلی با یکدیگر بود. نتایج نشان دادند که کنترل آلودگی ناشی از فلزات سنگین در دشت گیسور، بر خلاف تصور اولیه، رد می‌شود. همچنین، وضعیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی نامناسب گزارش شد. ضرورت انجام پژوهش حاضر به دلیل چالش‌های جدید از جمله تغییرات اقلیمی و رشد جمعیت است که مدیریت منابع آب را تحت فشار قرار داده است. تحقیقات گذشته به طور پراکنده به مشکلاتی نظیر کمبود و آلودگی آب پرداخته‌اند، اما نیاز به یک رویکرد جامع و یکپارچه احساس می‌شود. همچنین، بسیاری از این مطالعات از لحاظ ارزیابی شاخص‌های کلیدی ناکافی بوده‌اند. این تحقیق می‌تواند به شناسایی و توسعه راهبردهای فنی مؤثر در مدیریت پایدار منابع آب کمک کند و به عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب در راستای اتخاذ تصمیمات بهینه و پایدار در مدیریت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش بهترین - بدترین

روش بهترین - بدترین[1] که در سال ۲۰۱۵ توسط جعفر رضایی در مجله امگا[2] ارائه شد، روشی کارآمد در تصمیم‌گیری است. در این روش، ابتدا معیارهای بهترین(مهم‌ترین و مطلوب‌ترین) و همچنین بدترین(کم‌اهمیت‌ترین و نامطلوب‌ترین) توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شوند. سپس مقایسات زوجی میان هر یک از این معیارها با سایر معیارها انجام می‌گیرد. این روش مزایای قابل توجهی نسبت به روش‌های مشابه دارد. از جمله اینکه به مقایسه‌های کمتری نیاز دارد و به مقایسه‌های سازگارتری منجر می‌شود. این سازگاری، به معنای ارائه پاسخ‌های قابل‌اطمینان‌تر است که می‌تواند کیفیت تصمیم‌گیری را بهبود بخشد. مدل اصلی روش بهترین بدترین یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی است که در رابطه ۱ بیان شده است.

رابطه (۱)

$$
\begin{aligned}
&\min \varepsilon \\
&\text{s.t.} \\
&\left|\frac{w_b}{w_j} - a_{Bj}\right| \le \varepsilon \quad \text{ها} \qquad \text{برای تمامی (j) ها} \\
&\left|\frac{w_j}{w_\omega} - a_{jw}\right| \le \varepsilon \qquad \text{برای تمامی (j) ها} \\
&\Sigma_j w_j = 1 \\
&w_j \ge 0 \text{ ، for all j} \qquad \text{برای تمامی (j) ها}
\end{aligned}
$$

برای حل این مدل در ابتدا مجموعه شاخص‌های تصمیم گیری به صورت $\{c_1, c_2, c_3, \dots\dots, c_n\}$ تعریف می‌شود در گام بعدی بهترین شاخص (B) و بدترین شاخص (w) مشخص می‌شود. در گام سوم ارجحیت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها (a_{Bj}) با اعداد ۱ تا ۹ مشخص می‌شود در گام چهارم ارجحیت سایر شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص (a_{jw}) با اعداد ۱ تا ۹ مشخص می‌شود و در نهایت در گام پنجم با تشکیل و حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مقادیر بهینه وزن شاخص‌ها ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$) محاسبه می‌شود(Rezaei, 2015). با توجه به ساده‌تر بودن حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی نسبت به برنامه‌ریزی غیرخطی، تلاش‌هایی برای ارائه روش‌های مبتنی بر مدل سازی و حل برنامه‌ریزی خطی انجام شده است در این خصوص می‌توان به پژوهش(Dehghani & Abbasi, 2021) اشاره کرد که در آن الگوریتمی برای حل مدل غیرخطی با استفاده از حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی ارائه شده است. (Abbasi & Dehghani, 2022) همچنین با بهبود الگوریتم قبلی الگوریتمی ارائه کردند که با حل مدل‌های برنامه روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی و حل برنامه‌ریزی خطی انجام شده است در این خصوص می‌توان به پژوهش (Dehghani & Abbasi, 2021) اشاره کرد که در آن الگوریتمی برای حل مدل غیر خطی با استفاده از حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی ارائه شده است. از روش‌های مزبور می‌توان در گام پنج استفاده کرد. برای اطمینان از قابل قبول بودن نتایج بهترین- بدترین نرخ سازگاری با استفاده از ε (مقدار بهینه تابع هدف مدل ۱) مقدار شاخص سازگاری[3] یا ε_{max} که در جدول (۱) طبق رابطه ۲ محاسبه شده است. مقدار نرخ سازگاری عددی بین صفر و یک است هرچه نرخ سازگاری به صفر نزدیکتر باشد سازگاری بیشتر و هرچه نرخ سازگاری به یک نزدیک‌تر باشد سازگاری کمتر است(Rezaei, 2016)

رابطه (۲)

$$CR^0 = \frac{\varepsilon}{\text{سازگاری های شاخص}}$$

[1] Best-Worst Method
[2] Omega
[3] Consistency Index

جدول ۱- شاخص‌های سازگاری بهترین و بدترین روش

Table 1. Best-worst method compatibility indices

a_{Bw}	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
ε_{max}	۰/۰۰	۰/٤٤	۱/۰۰	۱/٦۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	٤/٤۷	٥/۲۳

۲-۲- تحلیل داده‌های تحقیق بواسطه روش تصمیم‌گیری بهترین- بدترین

درخت تصمیم معیارها و شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، از مقالات مختلف و با نظرات متخصصان عمران در زمینه منابع آب و اساتید دانشگاه استخراج شده است. این معیارها و شاخص‌ها در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.

شکل ۱- درخت تصمیم معیارها و شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق (منبع: نویسنده)

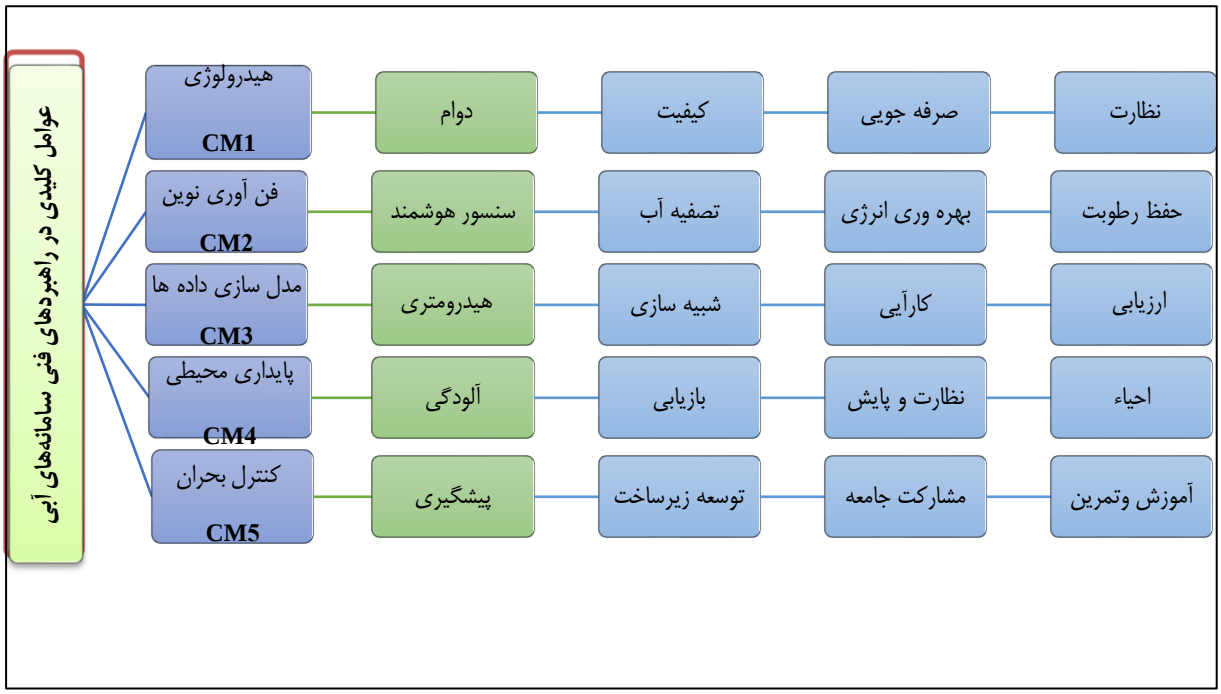

Fig 1. Decision tree of criteria and indicators used in this research. (Source: Author)

در این پژوهش، یک مدل پنج بعدی به منظور تعریف وزن عوامل مؤثر بر راهبردهای فنی سامانه‌های آبی در مدیریت بهینه آب ارائه شد. در این مدل، پنج معیار کلی شامل هیدرولوژی، فن‌آوری نوین، مدل‌سازی داده‌ها، پایداری محیطی و کنترل بحران در نظر گرفته شد. برای هر یک از این معیارها، چند زیرمعیار تعریف و در فرم‌های جداگانه تنظیم گردیدند. این رویکرد به ایجاد یک ساختار منسجم و کارآمد برای ارزیابی و توسعه راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی کمک خواهد کرد. معیارهای انتخاب‌شده در این مدل مبتنی بر چندین ملاک اساسی هستند. نخست، استفاده از نتایج و یافته‌های تحقیقات پیشین که به شناسایی عوامل کلیدی در مدیریت آب کمک کرده است. دوم، نظرات کارشناسان و متخصصان حوزه عمران، که تجربیات و دانش آن‌ها در انتخاب معیارها و زیرمعیارها بسیار مؤثر بوده است. علاوه بر این، تحلیل‌های کمی و کیفی نیز در نظر گرفته شده است تا یک دید جامع از وضعیت موجود ارائه گردد.

۱- فرم مدیریت منابع آب (CM_1): شامل زیر معیارهای دوام، کیفیت، صرفه جویی و نظارت است.

۲- فرم فن‌آوری نوین (CM_2): شامل زیر معیارهای سنسور هوشمند، تصفیه آب، بهره وری انرژی و حفظ رطوبت می‌باشد.

۳- فرم مدل‌سازی داده‌ها (CM_3): شامل زیر معیارهای هیدرومتری، شبیه سازی، کارآیی و ارزیابی است.

٤- فرم پایداری محیطی (CM_4): شامل زیر معیارهای کنترل آلودگی، بازیابی، نظارت وپایش، احیاء می باشد.

٥- فرم کنترل بحران (CM_5): شامل زیر معیارهای پیشگیری، توسعه زیرساخت، مشارکت جامعه و آموزش وتمرین است.

لازم به ذکر می باشد نحوه محاسبه داده‌ها به روش تصمیم‌گیری بهترین- بدترین در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۲- نحوه محاسبه داده ها با استفاده از بهترین و بدترین روش تصمیم گیری.(منبع: نویسنده)

Criteria Number = 5	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Criterion 4	Criterion 5
Names of Criteria	مدیریت منابع آب	فن‌آوری نوین	مدل‌سازی داده‌ها	پایداری محیطی	کنترل بحران
Select the Best	زیرساخت				
Select the Worst	فرهنگ سازی				
Best to Others	مدیریت منابع آب	فن‌آوری نوین	مدل‌سازی داده‌ها	پایداری محیطی	کنترل بحران
زیرساخت	۱	۴	۳	۲	۷
Others to the Worst	فرهنگ سازی				
مدیریت منابع آب	۷				
فن آوری نوین	۱				
مدل سازی داده ها	۲				
پایداری محیطی	۳				
کنترل بحران	۱				
Weights	مدیریت منابع آب	فن‌آوری نوین	مدل‌سازی داده‌ها	پایداری محیطی	کنترل بحران
	۰/٤۱۲٥	۰/۰۷٥	۰/۱۷٥	۰/۲٦۲٥	۰/۰۷٥
Ksi*	۰/۱۱۲٥				

Fig 2. Method of data calculation using the best-worst decision-making method. (Author)

۳- نتایج

۳-۱- وزن معیارهای اصلی (CM5, CM4, CM3, CM2, CM1)

نتایج مربوط به وزن‌های محاسبه‌شده برای هر یک از معیارهای اصلی که توسط اساتید دانشگاهی متخصص در زمینه عمران- منابع آب با کمک پرسشنامه بهترین- بدترین به دست آمده است، در جدول (۲) بیان شده‌اند.

جدول ۲- عناصر کلیدی(مدیریت منابع آب)

Table 2. Key elements (water resource management)

	هیدرولوژی	فن‌آوری نوین	مدل‌سازی داده‌ها	پایداری محیطی	کنترل بحران
p1	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۰۸
p2	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۰۸
p3	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۱۰
p4	۰/۴۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۱۲
p5	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۰۸
p6	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۴۲	۰/۰۸
p7	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۱۰
p8	۰/۴۰	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۲۸	۰/۱۴
p9	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۱۷
p10	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۴۱	۰/۰۸
p11	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۱۲
p12	۰/۴۱	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۶
p13	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۱۲
p14	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۴۱	۰/۰۸
p15	۰/۴۳	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۱۰
p16	۰/۴۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۶	۰/۱۳
p17	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۰۸
p18	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۱۲
p19	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۰۸
p20	۰/۱۰	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۱۰
میانگین	۰/۳۲۹	۰/۱۰۵	۰/۱۴۰	۰/۳۲۷	۰/۱۰۰

با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که معیار هیدرولوژی از دیدگاه اساتید در تعیین عوامل مؤثر بر راهبردهای فنی سامانه‌های آبی با تاکید بر مدیریت بهینه آب، بیشترین اهمیت را دارد. همچنین، معیارهای پایداری محیطی، مدل‌سازی داده‌ها، فن‌آوری نوین و در نهایت کنترل بحران در ردیف‌های بعدی قرار گرفته‌اند. در ادامه، به زیرمعیارهای هر یک از این معیارها که مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند، پرداخته می‌شود.

شکل ۳- اهمیت عناصر کلیدی

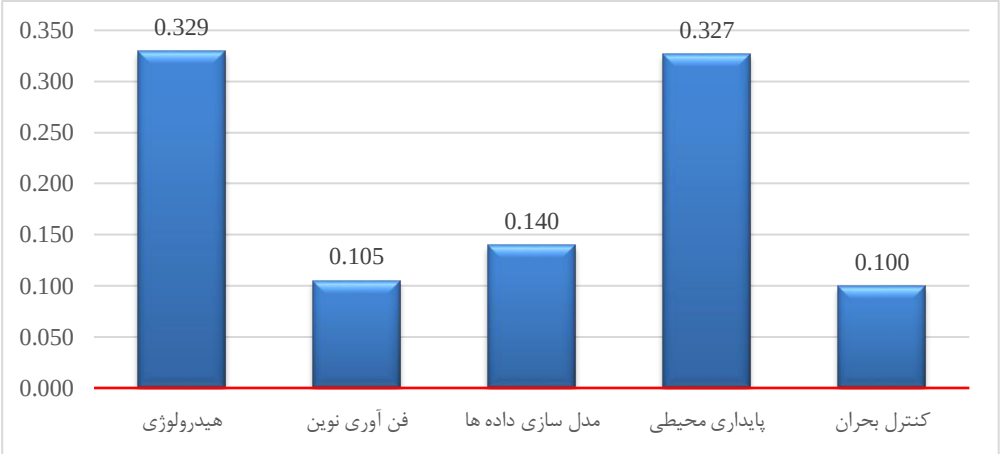

Fig 3. Importance of key elements

۳-۲- وزن زیرمعیارها

با توجه به داده‌های خروجی از شکل (٤) مشاهده می‌شود که طبق نظر اساتید عمران، عامل کیفیت از زیرمعیارهای هیدرولوژی در تعیین عوامل مؤثر بر راهبردهای فنی سامانه‌های آبی، بیشترین اهمیت را دارد. همچنین، عوامل صرفه‌جویی، دوام و نظارت در ردیف‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

شکل ٤- اهمیت زیر معیارهای هیدرولوژیکی

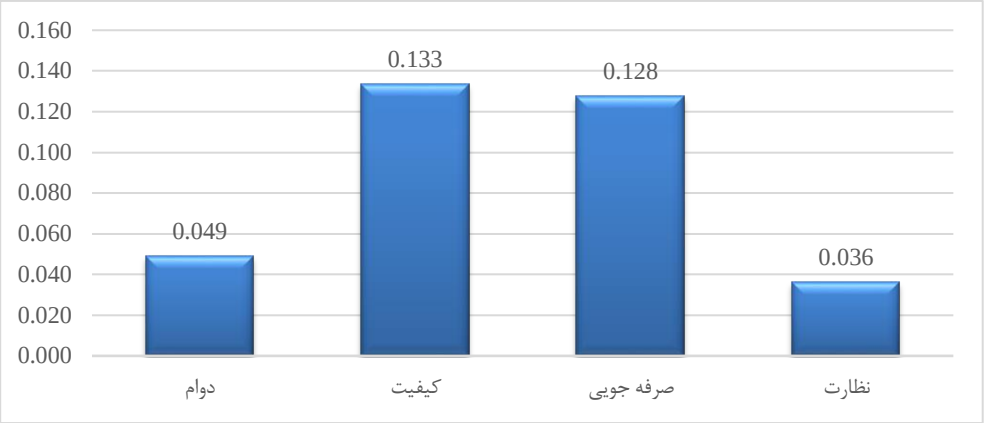

Fig 4. Importance of hydrological sub-criteria

با توجه به داده‌های خروجی از شکل(٥) مشاهده می‌شود که طبق نظر اساتید جامعه آماری عامل سنسور هوشمند از زیرمعیارهای فن‌آوری نوین در تعیین عوامل مؤثر بر راهبردهای فنی سامانه‌های آبی بیشترین اهمیت را داشته و عوامل تصفیه آب، بهره‌وری انرژی و حفظ رطوبت درردیف های بعدی قرار گرفتند.

شکل ٥- اهمیت زیرمعیارهای فن‌آوری جدید

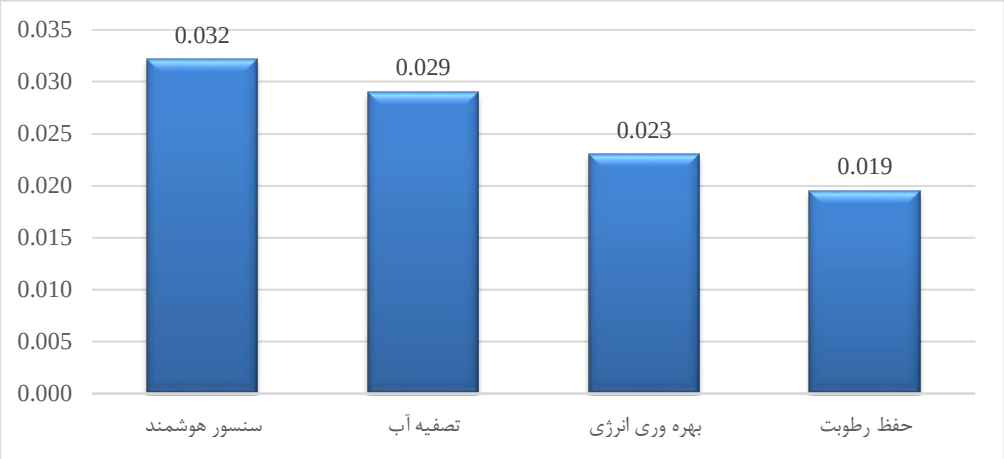

Fig 5. Importance of new technology sub-criteria

با توجه به داده‌های خروجی از شکل (٦) مشاهده گردید که طبق نظر اساتید دانشگاه عامل هیدرومتری از زیرمعیارهای مدل‌سازی داده‌ها در تعیین عوامل مؤثر بر راهبردهای فنی سامانه‌های آبی بیشترین اهمیت را داشته و عوامل شبیه‌سازی، کارآیی و ارزیابی در ردیف‌های بعدی قرار گرفتند.

شکل ٦- اهمیت زیر معیارهای قیمت گذاری مناسب

Fig 6. Importance of appropriate pricing sub-criteria

با توجه به داده‌های خروجی از شکل (۷) مشاهده گردید که طبق نظر اساتید دانشگاه عامل کنترل آلودگی از زیرمعیارهای پایداری محیطی در تعیین عوامل مؤثر بر راهبردهای فنی سامانه‌های آبی بیشترین اهمیت را داشته وعوامل احیا، نظارت وپایش و بازیابی درردیف‌های بعدی قرار گرفتند.

شکل ۷- اهمیت زیر معیارهای پایداری زیست محیطی

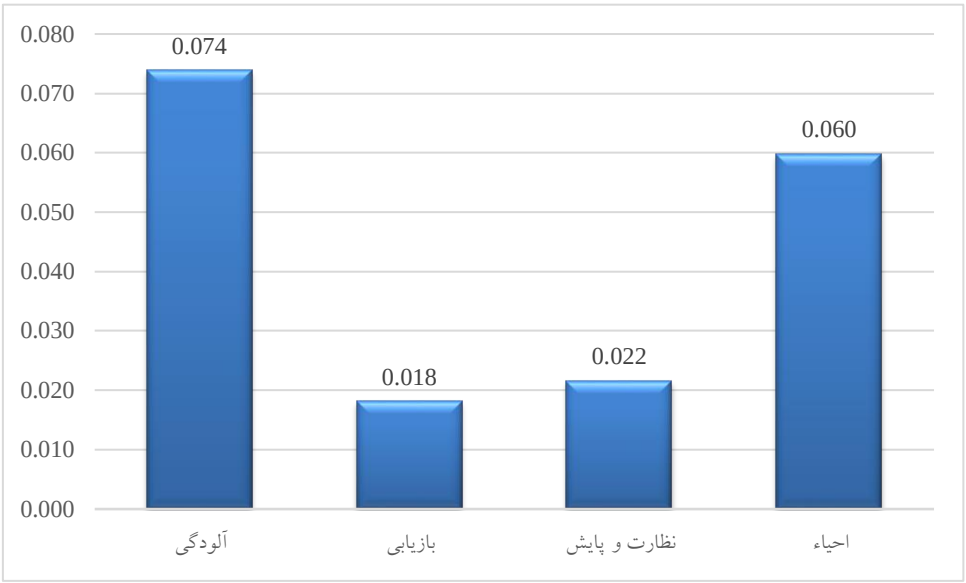

Fig 7. Importance of environmental sustainability sub-criteria

با توجه به داده‌های خروجی از شکل(۸) مشاهده گردید که طبق نظر اساتید عامل توسعه زیرساخت از زیرمعیارهای کنترل بحران در تعیین عوامل مؤثر بر راهبردهای فنی سامانه‌های آبی بیشترین اهمیت را داشته و عوامل پیشگیری، مشارکت جامعه و آموزش درردیف های بعدی قرار گرفتند.

شکل ۸- اهمیت زیرمعیارهای فرهنگ سازی

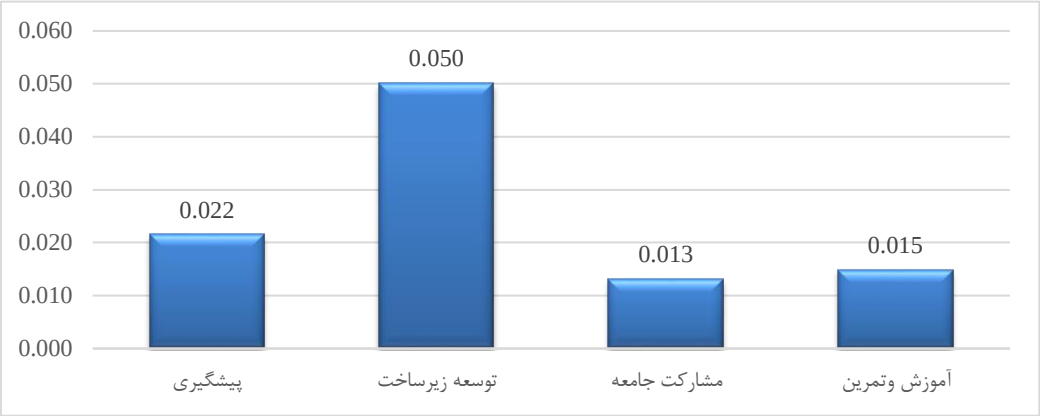

Fig 8. Importance of cultural development sub-criteria

با توجه به مجموع وزن‌های بدست آمده برای هریک از زیر معیارهای تعریف شده در این پژوهش بر اساس نظر اساتید اهمیت هریک از زیر معیارها در یک نگاه کلی در شکل (۹) آمده است.

شکل ۹- اهمیت کلی معیارهای فرعی

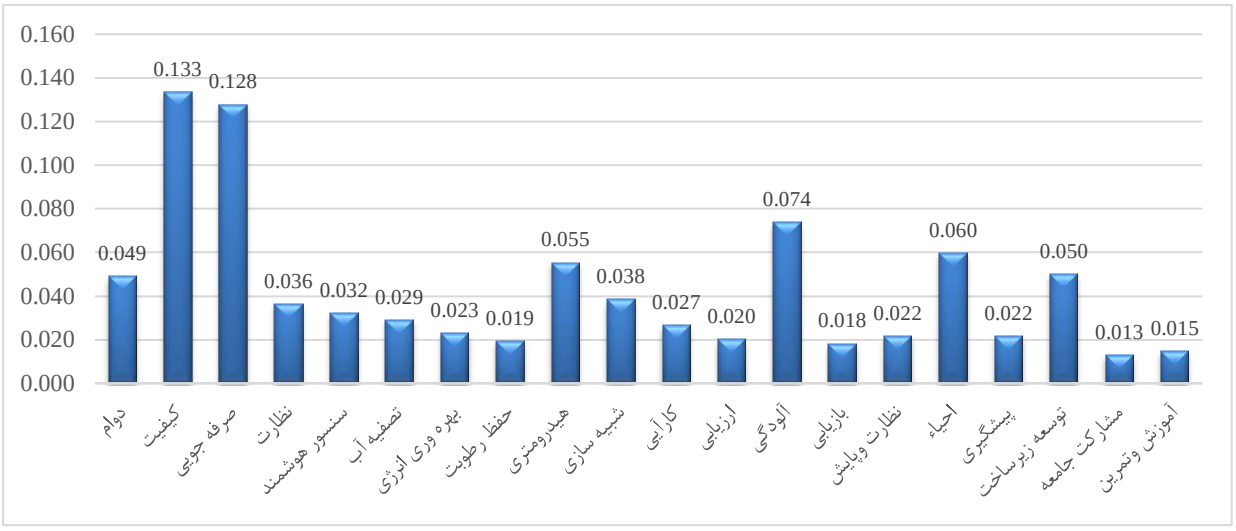

Fig 9. Importance of overall sub-criteria

۴- بحث ونتیجه‌گیری

با توجه به گستردگی و پیچیدگی سیستم‌های منابع آب، تعیین سیاست و انتخاب گزینه و راهبردهای مناسب جهت عملکرد مناسب سیستم‌های منابع آب در شرایط مختلف ضرورت داشته و نیاز به یک فرایند بهینه‌سازی جامع دارد. در این راستا، مدیریت کارا و بهره‌برداری شایسته از امکانات موجود و همچنین مدیریت در مصرف، دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این امر، در دوره‌های کمبود آب در مناطق مستعد خشکسالی و به خاطر تخصیص و ترخیص رقابتی آب، از نقطه نظر مدیریت بهره‌برداری اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. بنابراین مدیریت مصرف براساس افزایش بهره‌وری با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع آب بسیار ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد(Georgiou & Papamichail, 2008). در این تحقیق، با استفاده از روش بهترین- بدترین عوامل مؤثر در راهبردهای فنی سامانه‌های آبی با تاکید بر مدیریت بهینه آب شناسایی شدند. اولین عامل اساسی با توجه به موضوع مورد تحقیق کیفیت آب بوده که از دیدگاه کارشناسان از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله

لیتولوژی، تعامل سنگ و آب، دفع ضایعات خانگی، استفاده از کودها و آفتکش‌ها در کشاورزی و شرایط آب و هوایی است(Tiwari et al., 2017). بنابراین کیفیت آب زیرزمینی یک جنبه مهم زیست محیطی است که باید بسته به توزیع فضایی آن تحلیل و مدیریت شود. برای بهترین کنترل و مدیریت کیفیت آب زیرزمینی، دانستن توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی مهم است. در این راستا، سامانه مطالعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند ابزار قدرتمندی برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی باشد(Machiwal et al., 2011). دومین عامل اساسی وتاثیرگذار در این زمینه از نگاه کارشناسان عمران عامل صرفه جویی در مصرف آب بوده، که در مدیریت بهینه آب از اهمیت بالایی برخورداراست. کمبود آب، باعث ایجاد نگرانی در ابعاد جهانی شده است. از همین رو، متخصصین امر پیوسته در تلاشند تا راهکارهای جدید و برنامه‌های مدونی را برای استفاده بهینه از آن ارائه دهند. مسأله کمبود آب در ایران نیز تازگی ندارد، اما افزایش جمعیت و کاهش بارندگی به این مشکل دامن زده و شرایط نگران کننده‌ای را به وجود آورده‌اند. با وجود تمامی تلاش‌ها برای بهبود مصرف آب، حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی ایران طی سال‌های گذشته کاهش چشمگیری داشته و سفره‌های زیرزمینی با تراز منفی روبه‌رو بوده‌اند (Mosavi et al., 2009). بر اساس اصل تعادل آب شناسی آب‌های زیرزمینی، میزان استحصال سالانه این آب‌ها، باید با میزان تزریق سالانه محیط به این منابع برابر باشد (Balali et al., 2008). بر این اساس، بایستی محدودیت‌هایی را برای استحصال آب‌های زیرزمینی در نظر گرفت. آب در ایران دارای مصارف متنوعی است، به‌ویژه در کشاورزی که بیش از ۹۲ درصد از کل مصرف آب را شامل می‌شود. هدررفت آب در این بخش نیازمند تدابیر جدی است، از جمله استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند قطره‌ای و بارانی توصیه می‌شود. همچنین، باید از کشت‌های پرمصرف و کم‌بازده جلوگیری شده و به کشت‌های گلخانه‌ای توجه بیشتری شود. در مصارف خانگی، فرهنگ‌سازی می‌تواند به صرفه‌جویی کمک کند. صنایع نیز باید در مناطق پرآب ایجاد شوند و برای آبیاری عمومی از روش‌های بازیافت آب بهره‌برداری شود. با اجرای این راهکارها، می‌توان به‌طور مؤثری بحران آب را مدیریت کرد(Faramarznasab & Ahmadi, 2015). درنهایت سومین شاخص با اهمیت از دیدگاه کارشناسان عمران با توجه به عنوان پژوهش، عامل کنترل آلودگی شناسایی شد. با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی از مهمترین منابع طبیعی بوده، و بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور ایران، به خصوص در بخش شرب به وسیله منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد، ممکن است عدم شناخت صحیح و عدم درک از میزان آسیب پذیری سریع آب‌های زیرزمینی سبب ایجاد آلودگی‌های شدید در این منابع شود، چه بسا اتفاق می‌افتد که دیگر نتوان از این منابع استفاده کرد و برای رفع کنترل آلودگی و مصرف مجدد، باید دقت و هزینه زیادی صرف شود. در بعضی از موارد، فرآیندهای طبیعی به طور جدی سبب آلودگی می‌شوند، اما بیشتر نگرانی‌های بشر در مورد آلودگی‌آب‌های زیرزمینی بر اثر فعالیت انسانی است. فعالیت‌های انسانی اخیر، محیط آسیب‌پذیری را به وجود آورده، به طوری که آب زیرزمینی را به عنوان منبع طبیعی در معرض آلاینده های صنعتی و کشاورزی قرار داده‌اند. مفهوم آسیب پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی در مورد کنترل آلودگی آب زیرزمینی ارائه شد (Verba & Zaporozhek 1994). آسیب پذیری را می‌توان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سامانه آب زیرزمینی تعریف کرد. آسیب پذیری آبخوان، نیروی آن را برای نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سامانه آب زیرزمینی نشان می‌دهد، به طوری که آلودگی تولید شده در سطح زمین بتواند به آب زیرزمینی برسد و در آن پراکنده شود (Worrall & Besien, 2004). در مجموع، یک رویکرد جامع و یکپارچه در این زمینه نه تنها به افزایش پایداری منابع آب کمک می‌کند، بلکه به ارتقای کیفیت زندگی و توسعه اقتصادی نیز منجر می‌شود. بنابراین، ضرورت دارد که سیاست‌گذاران و مدیران منابع آبی به این عوامل توجه ویژه‌ای داشته باشند تا از بحران‌های آبی آینده جلوگیری کنند.

در زمینه بهبود راهبرد سامانه‌های آبی با تاکید بر مدیریت بهینه آب، می‌توان به موارد زیر به عنوان پیشنهاد توجه کرد:

۱. استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و هوشمند برای بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی.

۲. ایجاد سامانه‌های پایش و نظارت مستمر بر کیفیت منابع آب برای شناسایی و رفع آلاینده‌ها.

۳. برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های آگاهی‌رسانی برای تشویق مردم به صرفه‌جویی در مصرف آب.

٤. ترویج استفاده مجدد از آب‌های خاکستری در مصارف غیرشرب مانند آبیاری باغ‌ها.

۵. ساخت سدها و مخازن جدید برای ذخیره‌سازی آب باران و رواناب‌ها.

٦. ارائه مشوق‌های مالی برای کشاورزان و صنایع که از فن‌آوری‌های کم‌مصرف آب استفاده می‌کنند.

۷. وضع تعرفه‌های آب به‌گونه‌ای که مصرف بیش از حد را کنترل کند و به صرفه‌جویی تشویق کند.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این پژوهش اعلام می‌دارد که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این پژوهش ندارد.

۶- منابع

Abatan, A., Obaigbena, A., Ugwuanyi, E. D., Jacks, B. S., Umoga, U. J., Daraojimba, O. H., & Lottu, O. A. (2024). Integrated simulation frameworks for assessing the environmental impact of chemical pollutants in aquatic systems. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(2), 543-554. https://doi.org/10.51594/estj.v5i2.831

Ani, E. C., Olajiga, O. K., Sikhakane, Z. Q., & Olatunde, T. M. (2024). Renewable energy integration for water supply: a comparative review of African and US initiatives. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 1086-1096. https://doi.org/10.51594/estj.v5i3.972

Asadi, M A, Khalilian, S., & Mousavi, S H E. (2018). Determining the economic value of water in wheat and rape fields (case study: Qazvin plain irrigation network). *Scientific Quarterly Journal of Water Resources Engineering*, 12(40), 137-148. (In Persian)

Acey, C., Kisiangani, J., Ronoh, P., Delaire, C., Makena, E., Norman, G., ... & Peletz, R. (2019). Cross-subsidies for improved sanitation in low-income settlements: Assessing the willingness to pay of water utility customers in Kenyan cities. *World Development*, 115, 160-177. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.11.006

Abbasi, M., & Dehghani, M R. (2022). Determining and estimating the weights of best-worst method criteria through solving linear programming or mixed integer linear programming models. *Journal of New Researches in Mathematics*. Article in press. (In Persian)

Balali, H., Khalilian, S. Ahmadian, M. & Torabi Pellet Kaleh, S. (2008). Analysis of effects of energy subsidies adjustment on groundwater balance and exploitation. *Agricultural Research*, 8(3), 95-106. (In Persian)

Dehghani, M R., & Abbasi, M. (2021). Performance evaluation of thermal power generation companies using integrated proposed trustable BWM algorithm and BSC model (A real case study). *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, 10 (4), 64-72. https://doi.org/20.1001.1.23222344.1400.10.4.4.5.(In Persian)

Elhatip, H., Afşin, M., Dirik, K., Kurmaç, Y., & Kavurmacı, M. (2003). Influences of human activities and agriculture on groundwater quality of Kayseri-Incesu-Dokuzpınar Springs, Central anatolian part of Turkey. *Environmental Geology*, 44(4), 490-494. https://doi.org/10.1007/s00254-003-0787-0

Faramarznasab, R., & Ahmadi, Z. (2015) Water resource management through saving to control the water crisis, the second national conference on strategies for the development and promotion of science education in Iran. *Goleda.* https://civilica.com/doc/600544

Georgiou, P. E., & Papamichail, D. M. (2008). Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. *Irrigation Science*, 26, 487-504. https://doi.org/10.1007/s00271-008-0110-7

Jeong, C. H. (2001). Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon Area, Korea. *Journal of Hydrology*, 253(1), 194-210. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00481-4

Kaaba, M., Bagheri, R., & Jafarzadeh, M. (2017). Risk assessment of water resource pollution in Gisour Plain, south of Razavi Khorasan. 11th National Specialized Geological Conference of Payam Noor University and 21st Conference of Geological Society of Iran, Qom. (In Persian)

Khoshmanesh, B., Raushi, N., & Sefalai, E. (2017). Strategy plan for controlling and reducing the pollution of the country's water resources. The Second Specialized Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran. (In Persian)

Machiwal, D., Jha, M. K., & Mal, B. C. (2011). GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174, 645-663. https://doi.org/10.1007/s10661-010-1485-5

Motaghi, A., & Qarabeigi, M. (2018). Designing and developing optimal water management strategies in Iran. The 14th Congress of the Geographical Society of Iran, Tehran. https://civilica.com/doc/876577. (In Persian)

Mosavi, S., Akbari, S., Soltani, GH., & Zare Mehrgerdi, M. (2009). Virtual water, a new way to cope with water crisis. National Conference on Water Crisis Management. Islamic Azad University of Marvdasht branch. Marvdasht. Iran. (in Persian)

Nazari, R. & Judoi, A. (2014). Applied modeling of flow and pollutant transport in an aquifer with a guide to GMS software. Pp: 230. (In Persian)

Obiuto, N. C., Olu-lawal, K. A., Ani, E. C., Ugwuanyi, E. D., & Ninduwezuor-Ehiobu, N. (2024). Chemical engineering and the circular water economy: Simulations for sustainable water management in environmental systems. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 001-009.

Olatunde, T. M., Adelani, F. A., & Sikhakhane, Z. Q. (2024). A review of smart water management systems from Africa and the United States. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(4), 1231-1242. https://doi.org/10.51594/estj.v5i4.1014

Piri, H., & Heydari, M. (2017). Estimation of demand function and economic value of water in fodder sorghum production in Sistan region. *Scientific-Research Quarterly of Agricultural Economics Research*, 10(38), 121-134. (In Persian)

Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130. https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57. https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009

Tiwari, K., Goyal, R., & Sarkar, A. (2017). GIS-based spatial distribution of groundwater quality and regional suitability evaluation for drinking water. *Environmental Processes*, 4, 645-662. https://doi.org/10.1007/s40710-017-0257-4

Verba, J., & Zaporozec, A. (Eds.). (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability (Vol. 16, pp. 1-131). Hannover: Heise. ISBN 3-922705-97-9

Worrall, F., & Besien T. (2004). The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly from observations of presence or absence in wells. *Journal of Hydrol* 303, 92-107. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.019