

مقاله علمی-پژوهشی

واکاوی عوامل مؤثر بر موفقیت و شکست پژوهش‌های فناورانه صنعت آب ایران

مسعود پورغلام آمیجی^{۱*}، توفیق سعدی^۲ و داود نجفیان^۳

چکیده

با توجه بحران آب، خشک‌سالی، افزایش جمعیت و کمبود منابع آب متعارف، استفاده از فناوری‌های جدید به منظور استفاده از آب‌های نامتعارف و مدیریت مصرف در بخش‌های مختلف به شدت مورد نیاز است؛ بنابراین لازم است که مشکلات موجود موشکافی شده و راه حل‌های علاج‌بخش برای ورود فناوری‌های جدید در صنعت آب ارائه شود. در پژوهش حاضر، به واکاوی عوامل مؤثر بر موفقیت و شکست پژوهش‌های فناورانه صنعت آب در ایران باهدف شناسایی دلایل عدم به‌کارگیری و اجرای طرح‌ها، اختراعات و پژوهش‌های فناورانه آب کشور پرداخته شد. بدین منظور ۱۰ مورد از مهم‌ترین فناوری‌ها، ابداعات، اختراعات، پروژه‌ها و ایده‌های کاربردی برای بخش آب کشور از بین ۷۰ فناوری منتخب، شناسایی شدند. برای ارائه راهکارهای اثربخشی تقویت موفقیت و جلوگیری از شکست فناوری‌های آب، ۱۵ پرسشنامه بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسط افراد متخصص، مجرب، خیره و مسلط به موضوع در پاییز و زمستان ۱۴۰۱ تکمیل و نتایج در بهار ۱۴۰۲ تحلیل شد. ساختار سلسله مراتبی با توجه به هدف مورد مطالعه، شامل چهار بعد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بود که هر کدام از بعدها چهار زیرمعیار داشتند. بعد از تکمیل پرسشنامه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین شد. برای سنجش صحت پرسشنامه‌های تکمیل‌شده، نرخ ناسازگاری محاسبه و برابر ۰/۰۹ به دست آمد که از حد مجاز (۰/۱) کمتر بود. بررسی وزن نهایی هر کدام از زیرمعیارها نشان داد که رتبه اول تا سوم از بین تمام گزینه‌های مورد بررسی در چهار معیار اصلی، به ترتیب زیرمعیارهای سهولت تعمیر (S1) از معیار فنی با وزن نهایی ۰/۲۴۳، عمر مفید (S4) از معیار فنی با وزن ۰/۱۵۸ و هزینه بهره‌برداری و نگهداری (W4) از معیار اقتصادی با وزن ۰/۱۲۰ بودند. به‌طور کلی دو گزینه اول در بعد فنی و گزینه برتر در بعد اقتصادی، به‌عنوان مؤثرترین عوامل در اثربخشی تقویت موفقیت و جلوگیری از شکست فناوری‌های آب نقش دارند و باید در فناوری‌های جدید، این زیرمعیارها تأمین شود. رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها نشان می‌دهد که از هشت گزینه اول که بیشترین امتیاز را کسب کردند، هفت مورد مربوط به معیارهای فنی و اقتصادی بوده و توجه به آن، تضمین‌کننده موفقیت پروژه‌های فناورانه صنعت آب است. از طرف دیگر، از شش مورد آخر، چهار مورد مربوط به زیرمعیارهای بعد اجتماعی بوده و کمترین وزن نهایی را داشتند. سه زیرمعیاری که وزن نهایی آن از بقیه کمتر بود، شامل O3 (سطح سواد کاربر با وزن نهایی ۰/۰۰۲)، T3 (سازگاری با اقلیم با وزن نهایی ۰/۰۰۴) و O2 (تسهیلات دولتی با وزن نهایی ۰/۰۰۷) بودند. در حالت کلی، زیرمعیارهای بعد زیست‌محیطی و اجتماعی جزء گزینه‌های کم‌اهمیت بودند که تأمل‌برانگیز است زیرا به این دو مبحث مهم، آن‌طور که باید و شاید، توجه نشده است. وزن نهایی معیارهای اصلی شامل فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب برابر با ۰/۵۲۲، ۰/۳۲۰، ۰/۱۰۸ و ۰/۰۴۹ به دست آمد. شایان‌ذکر است که عدم توجه به مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی، پایه‌گذار شکست پروژه‌های فناورانه آب، عامل محدودکننده توسعه و یکی از دلایل اصلی عدم اجرایی شدن اختراعات و نوآوری‌های صنعت آب خواهد شد. نتیجه این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی و تصمیم‌گیری در دستور کار متولیان و مسئولان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، توسعه فناوری، عوامل موفقیت، نقطه شکست، نوآوری

مقدمه

^۳ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی و مدیرعامل و رئیس هیئت‌مدیره شرکت آب منطقه‌ای البرز، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران و کارشناس حفاظت از آب‌های زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای البرز، کرج، ایران (* نویسنده مسئول: Mpourgholam6@ut.ac.ir)
^۲ دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی و دبیر کمیته تحقیقات و فناوری، شرکت آب منطقه‌ای البرز، کرج، ایران

به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری و شناخت موانع و محدودیت‌ها حائز اهمیت است و لازم است که با تحلیل و تفسیرهای کارشناسی، قابلیت اجرایی آن راحت‌تر بررسی شود. در روش‌های مشابه همانند ابزار تحلیلی SWOT، نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدیدهای عدم اثربخشی یک هدف شناسایی می‌شوند (Pourgholam-Amiji et al., 2023) و لازم است که به منظور اجرایی شدن و کاربرد نتایج تحقیقات، معیارها و زیرمعیارهای لازم شناسایی و دسته‌بندی شوند.

در همین راستا، ابزارها و مدل‌های مختلفی از قبیل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP^۱)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۲) و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP^۳) در خصوص تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن همه معیارها و عوامل تأثیرگذار طراحی و توسعه یافته‌اند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌نماید و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد؛ علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید و قادر به تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم بوده که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. روش AHP که بر پایه تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی قرار دارد، توسط ویند و ساتی در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد شد (Wind & Saaty, 1980). در اغلب مطالعات نیز نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را در مقایسه با دیگر روش‌های موجود، به عنوان ابزاری مفید و کارآمد در انتخاب بهترین گزینه از بین سایر ویژگی‌های موجود معرفی شده است (مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ نائینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ پورصمصام و همکاران، ۱۴۰۰؛ گودرزی، ۱۴۰۱؛ کاظمی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۱؛ فقیهی و جهانتیغ، ۱۴۰۲؛ اخوان و همکاران، ۱۴۰۲).

یکی از تنگناهای اساسی که دنیا به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک با آن مواجه‌اند، کافی نبودن آب برای مصارف متفاوت، اعم از شرب، صنعت، کشاورزی و نیاز محیط‌های طبیعی-زیست-محیطی است. فراموش کردن این حقیقت، استفاده نادرست و بدون برنامه از منابع آب موجود یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده توسعه پایدار است و این مسئله با افزایش جمعیت و وقوع ناهنجاری‌های اقلیمی نظیر خشک‌سالی و تغییر اقلیم حادث‌تر خواهد شد (Mohammadkhani et al., 2020).

نظر به موقعیت جغرافیایی کشور ما در کره زمین که از شرایط آب و هوایی از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب گشته و میانگین بارندگی سالانه آن به‌مراتب از متوسط بارندگی کره زمین کمتر می‌باشد، مدیریت صحیح منابع آبی ضروری است (Panahi et al., 2020; Sorkhabi, 2021; Viswanathan et al., 2022; Pourgholam-Amiji et al., 2023). با افزایش جمعیت، توسعه شهری و نیز افزایش تولیدات کشاورزی، گسترش آبیاری و تخریب منابع آب موجود، نیاز به منابع آب بیشتر و مدیریت بهینه آن افزایش یافته است. تأمین انواع نیازهای زیست‌محیطی و اکوسیستم، شهری، کشاورزی، برقایی و تفریحی با توجه به کیفیت آب در کنار محدودیت منابع آب بر پیچیدگی‌های مسئله افزوده است (Ladi et al., 2021; Radhika et al., 2022; Pourgholam-Amiji et al., 2024). این مهم بدون توجه به یافته‌های تحقیقاتی جدید و استفاده از فناوری‌های نو ظهور امکان‌پذیر نبوده و نمی‌توان بدون استفاده و دخیل کردن فناوری‌های جدید در صنعت آب، بر مشکلات و بحران آب در تمام بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت فائق آمد و منابع آب محدود را به‌درستی مدیریت کرد.

در خصوص هرگونه توسعه در هر منطقه و یا اجرا و به‌کارگیری یک فناوری که قبل از آن وجود نداشت و یا با مشکلاتی مواجه بود، عوامل متعددی از قبیل فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست‌محیطی، مدیریتی و غیره دخیل است. در این راستا ارزیابی تأثیرگذاری هر کدام از این عوامل در اجرای طرح

³ Fuzzy Analytic Hierarchy Process

¹ Analytic Network Process

² Analytic Hierarchy Process

مدیریتی، فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را برای ارزیابی خود مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که دیدگاه مدیریتی- بهره‌برداری با وزن ۰/۵۰۹ در بالاترین اولویت قرار دارد. در همین راستا در مطالعه دیگر نیز خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد‌های زیرزمینی در دامنه شمالی کوه های کرکس-نطنز پرداختند و بر قابلیت و توانایی بالای روش AHP تأکید کردند.

نائینی و همکاران (۱۳۹۸) سامانه‌های آبیاری نخلستان‌های بوشهر و تعیین مناسب‌ترین سیستم با استفاده از روش AHP را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل تصمیم‌گیری نشان داد که در استان بوشهر سیستم آبیاری قطره‌ای بابلر و در مناطقی از استان که امکان اجرای آبیاری قطره‌ای بابلر وجود ندارد، اصلاح سیستم آبیاری سنتی غرقابی به سیستم آبیاری جوی و پشته‌ای یک‌درمیان، به‌عنوان سیستم برتر انتخاب شدند. در همین راستا در مطالعه دیگر منتظر و بهبهانی مدلی برای انتخاب سیستم بهینه آبیاری با توجه به عوامل فیزیکی، سیاسی-اقتصادی و زیست‌محیطی مؤثر بر راندمان آبیاری ارائه نمودند. در این مدل، فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل پیشنهادی در تطابق خوبی با نتایج تحقیقات مزرعه‌ای است (Montazar & Behbahani, 2007). اوکادا و همکاران، اثرات بهبود مدیریت و سخت‌افزارها را در اجرای پروژه‌های آبیاری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت کمی درآوردند. بررسی‌ها، توانمندی و تأثیر کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی را در ارزیابی پروژه‌های آبیاری نشان می‌دهند. همچنین، مشخص شد که کیفیت خدمات تحویل آب اثر مهمی بر روی تولید محصولات داشت (Okada et al., 2008).

پرما و پراجانتی استراتژی‌های حفاظت از مزارع تحت آبیاری را با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی در اندونزی مورد بررسی قرار دادند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کاهش اراضی تحت آبیاری در دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۰ بوده است. استراتژی حفاظت

Karami, 2006; Montazar & Behbahani, 2007; Neissi (et al., 2020; Omeka et al., 2023).

مطالعات مختلفی در خصوص استفاده از این روش‌ها به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری انجام شده است. حسنوی آتسگاه و همکاران (۱۳۹۸) معیارها و شاخصه‌های اثرگذار زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی را در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای را با روش دلفی به هشت معیار اصلی طبقه‌بندی کرده و سپس با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سلسله مراتبی (AHP) اولویت‌بندی نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که در هر دو روش، اولویت معیارهای اصلی یکسان بود. همچنین در روش AHP، ارجحیت گزینه‌های انتقال باهدف تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعتی و محیط‌زیستی به ترتیب ۵۶، ۱۷، ۱۶ و ۱۱ درصد بود اما در روش ANP گزینه آب شرب با ۵۶ درصد در رتبه نخست بوده و آب صنعتی با ۱۸ درصد، آب کشاورزی با ۱۴ درصد و آب محیط‌زیستی با ۱۲ درصد به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

نیک‌مهر و زیبایی (۱۳۹۵) در پژوهشی برای ارزیابی عملکرد هشت طرح آبیاری و زهکشی در استان خوزستان از روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس^۱ استفاده کردند. برای این منظور معیارهای اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، فنی و مدیریتی و ۱۸ زیرمعیار برای ارزیابی در نظر گرفته شده است. نتایج آن‌ها نشان داده است که معیار اقتصادی با وزن نسبی ۰/۲۹۲ بیشترین تأثیر را در فرآیند ارزیابی داشته و معیارهای مدیریتی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۷۶، ۰/۱۶۳، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۳۰ در رده‌های بعدی قرار گرفتند. از منظر زیست‌محیطی، شبکه گنوند با امتیاز ۰/۹۳۱ به عنوان کارآمدترین و شبکه شهید رجایی با امتیاز ۰/۳۹۰ ناکارآمدترین شبکه شناخته شدند. در مطالعه دیگر قدوسی و ملکشی (۱۳۹۳) اولویت‌بندی راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی قزوین را بر اساس نظرهای کارشناسان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۲) و نرم‌افزار Expert Choice مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها موارد

² Analytic Hierarchy Process

¹ Topsis

ایران و جهان انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

هدف از شکل‌گیری ایده و انجام این پروژه، به دلیل بحرانی بودن وضعیت آب کشور و همچنین ناکافی و ناکارآمد بودن ابزارهای موجود و فناوری‌های حال حاضر در بخش‌های شرب، صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست می‌باشد. لذا این پروژه باهدف بررسی و آسیب‌شناسی طرح‌ها و پژوهش‌های فناورانه آب کشور و ارائه راهکارهای اثربخشی فناوری‌های حوزه آب انجام شد. در بخش‌های زیر، به محدوده مورد مطالعه و اطلاعات موردنیاز برای انجام پروژه و همچنین چگونگی به‌کارگیری ابزار و نرم‌افزارهای مربوطه برای کاربردی‌تر شدن نتایج این پروژه پرداخته شده است.

محدوده مورد مطالعه و اطلاعات موردنیاز

محدوده مورد مطالعه این پژوهش، در سطح کل کشور و باهدف بررسی تمام اختراعات و فناوری‌های ساخته‌شده که در بخش‌های شرب، کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست اجرا شده و یا به دلایل مختلف اجرا نشده‌اند، می‌باشد. بدین منظور لازم بود که یک مطالعه کتابخانه‌ای وسیع از تمامی گزارش‌ها و اسناد موجود که دربرگیرنده توضیحات و شناسنامه این‌گونه فناوری‌ها باشد، انجام گیرد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، اهداف این پروژه شامل شناسایی محصولات فناورانه اختراع و ساخته‌شده در کشور، تعیین میزان کارایی و کیفیت اختراعات و محصولات دانش‌بنیان، استارت‌آپ‌ها و پارک‌های علم و فناوری، بررسی دلایل عدم به‌کارگیری، اثربخشی و انبوه‌سازی اختراعات و محصولات فناورانه صنعت آب، شناسایی نقاط قوت و ضعف کارهای انجام‌شده و امکان‌سنجی تکمیل آن‌ها از طریق حمایت فنی و همکاری سایر گروه‌های تخصصی و ارائه راهکارها و پیشنهادهایی در راستای اثربخشی و کاربردی نمودن پژوهش‌های فناورانه آب در کشور می‌باشد.

اطلاعات موردنیاز برای انجام این پروژه شامل گزارش، مقاله، کتاب، طرح‌های تحقیقاتی، اختراع، محصولات شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها، دانشگاه‌ها، ادارات و سازمان‌های مرتبط

از اراضی تحت آبیاری در منطقه مذکور، شامل چندین معیار با اولویت‌بندی از اراضی پایدار و بهره‌برداری از آب (با وزن ۰/۳۲۲) بود. نتایج نشان داد که ترتیب اهمیت این معیارها شامل بهینه‌سازی عملکرد شبکه آبیاری (۰/۲۴۱)، ملاحظات قانونی (۰/۱۸۶)، اقتصادی (۰/۱۶۰) و اجتماعی (۰/۰۹۱) بود (Pramana & Prajanti, 2019). اومکا و همکاران نیز از روش AHP و الگوریتم‌های یادگیری ماشین هوشمند مبتنی بر داده برای پیش‌بینی کیفیت آب آبیاری در نیجریه استفاده کرده و این روش را کارا توصیف کردند (Omeka et al., 2023).

در مطالعات پیشین، بیشتر به آسیب‌شناسی عدم به‌کارگیری فناوری‌ها و اختراعات در اجرا پرداخته شده و ارائه راهکارهای فنی برای اثربخشی فناوری‌های جدید و به‌کارگیری آن جزء حلقه مفقوده این مطالعات بوده است. تحقیقات مرتبطی که نزدیک به اهداف این پژوهش هستند، ارائه شده و جمع‌بندی‌های لازم در این بخش صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که پژوهش‌های بیان شده، دقیقاً مطابق با اهداف این پروژه نیستند و این به نوآوری این پروژه برمی‌گردد؛ بنابراین با توجه به جمیع موارد بیان‌شده، پیشرفت‌های اخیر در گسترش شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها و همچنین ارج نهادن به نتایج تحقیقات کاربردی پژوهشگران و اختراعات فناورانه در صنعت آب کشور، لازم و ضروری است که ضمن به‌کارگیری و رفع مشکلات اجرایی این فناوری‌ها و قدم برداشتن در جهت حل مشکل آب کشور، بتوان گامی مؤثر در جهت توسعه و پیشرفت برداشت. با عنایت به موارد فوق و اهمیت این پژوهش که بر شناسایی تجربیات موفق و ناموفق فناوری‌های آب کشور (چه آن‌ها که به مقام اجرا نرسیده و چه آن‌ها که عمر اجرایی آن کوتاه بوده) متمرکز است.

بر این اساس، اهداف این پژوهش شامل (۱) شناسایی محصولات فناورانه‌ای که تاکنون در کشور اختراع و ساخته شده اند. (۲) بررسی دلایل عدم به‌کارگیری، اثربخشی و انبوه‌سازی اختراعات و محصولات فناورانه صنعت آب. (۳) ارائه راهکارها و پیشنهادهایی در راستای شناسایی عوامل موفقیت و شکست پروژه‌ها و اثربخشی و کاربردی نمودن پژوهش‌های فناورانه آب در کشور می‌باشد. لازم به ذکر است چنین مطالعه‌ای با این وسعت در

کاربردی و اجرایی شود، از وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت‌های آب منطقه‌ای، پارک‌های علم و فناوری استانی، شرکت‌های استارت‌آپی، شرکت‌های دانش‌بنیان، پژوهشگران و کارخانه‌های فعال در صنعت آب و همچنین نظر و تخصص کارشناسان شرکت‌های مشاور-پیمانکار و مدیران و متخصصان صنعت آب، اخذ شد. شکل (۱)، شماتیکی از اطلاعات موردنیاز و فناوری‌های کاربردی که در راستای اهداف این پژوهش است را نشان می‌دهد (الیاسی و همکاران، ۱۳۹۷).

با بخش آب، شرکت و کارخانه‌ها و هر شخص یا شرکتی که به تولید و ساخت فناوری‌های کاربردی برای حل مشکل بحران آب پرداخته است، می‌باشد. البته به شرطی که فناوری مذکور، ارزش و قابلیت اجرا را داشته و تأثیر زیادی در مدیریت، کنترل و مصرف بهینه آب در گروه‌های مصرف‌کننده (شرب، کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست) ایجاد کند؛ بنابراین اطلاعات موردنیاز برای دسته‌بندی و تحلیل و تفسیر وضعیت موجود و همچنین استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه که خروجی آن منجر به ارائه راهکارهای



شکل ۱- فناوری‌های موردنیاز به تفکیک جایگاه در زنجیره فعالیت‌ها

در وهله اول، تعداد ۷۰ فناوری، اختراع و ابداعاتی که در حوزه آب و انرژی (شرب، صنعت، کشاورزی، محیط‌زیست و غیره) دخیل هستند، شناسایی شدند. هر کدام از این فناوری‌ها، در شرایط بحران آب فعلی و خشک‌سالی‌های حادث‌شده، به طور مستقیم موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شده و یا به طور غیرمستقیم توسط نقاط و گره‌های مصرف‌کننده در کاهش مصرف آب نقش اساسی دارند. ضمن اینکه برخی از این‌ها در سطح ایده هستند، برخی به تولید نسخه اولیه دست یافتند، برخی اجرایی شدند و برخی بعد از اجرا شکست خوردند. سپس با نظر پنج نفر از متخصصان و

به‌کارگیری مدل‌ها و نرم‌افزارهای مختلف به دلیل رسیدن هرچه سریع‌تر به پاسخ مسئله و صرفه‌جویی در هزینه و وقت، لازم و ضروری است. بعد از تحلیل کاربردی نتایج و شناخت مشکلات موجود، به کمک نرم‌افزارها می‌توان بهترین تصمیم را از بین گزینه‌های مختلف برگزید. در پروژه حاضر برای بررسی و آسیب‌شناسی طرح‌ها و فناوری‌های حوزه آب از دو رویکرد مهم استفاده شد که در ادامه در خصوص آن‌ها توضیح داده می‌شود.

پیش‌پردازش اطلاعات و انتخاب مهم‌ترین فناوری‌های بخش آب کشور

افراد با تجربه، ۱۰ مورد از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین آن‌ها جهت آسیب‌شناسی و تعیین مشکلات موجود در این حوزه انتخاب شدند. برای جلوگیری از حجم زیاد مقاله و ارائه توضیحات بیشتر می‌توان به Pourgholam-Amiji et al. (2023) رجوع کرد.

روش ساختن یک سلسله مراتبی

روش ساختن سلسله مراتبی به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود، بستگی دارد؛ به‌طور مثال اگر تصمیم موردنظر انتخاب یک گزینه باشد، می‌توان از گزینه‌ها شروع کرده و در پایین‌ترین سطح هدف سلسله مراتبی که یک عنصر است، قرار گیرد. گاهی اوقات خود معیارها نیز باید به‌صورت جزئی‌تر مورد تجزیه و تحلیل واقع شوند که در این‌گونه موارد یک سطح دیگر (که شامل زیرمعیارها می‌شود) به سلسله مراتبی اضافه می‌شود، البته لزومی ندارد که تمامی معیارها دارای زیرمعیار باشند.

برای اهداف بیان‌شده در این پروژه، ابتدا پرسشنامه‌ای بر اساس روش AHP برای بررسی "دلایل موفقیت و یا شکست فناوری‌های صنعت آب و دلیل عدم اثربخشی یا موانع موجود" طراحی شد. تهیه پرسشنامه و تبیین مسئله و طراحی ساختار اولیه معیارها متناسب با اهداف مطالعه علاوه بر بررسی مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، از نظرات اساتید دانشگاه و صاحب‌نظران، شرکت‌های استارت‌آپی، شرکت‌های دانش‌بنیان، کمیته تحقیقات و فناوری شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت‌های آب منطقه‌ای، کارشناسان شرکت‌های مشاور-پیمانکار و مدیران بخش آب استفاده شد. اطلاعات موردنیاز با تکمیل پرسشنامه‌ها حاصل شد. در خصوص تعداد پرسشنامه‌ها باید گفت؛ با توجه به این‌که تصمیم‌گیری در خصوص کارهای مدیریتی و توسعه‌ای معمولاً توسط مدیران صورت می‌گیرد، لذا انتخاب و بررسی تعداد زیاد پرسشنامه مبنی بر دقت بالایی کار نیست؛ بلکه انتخاب افراد متخصص درجه اهمیت بالایی دارد. حتی در مطالعات مشابه صورت گرفته نیز تعداد مشابهی در نظر گرفته شده که می‌توان به مطالعات حسنوی آتشیگاه و همکاران (۱۳۹۸) به تعداد ۲۰

پرسشنامه، نائینی و همکاران (۱۳۹۸) به تعداد ۲۵ پرسشنامه و رجا و همکاران (۱۳۹۹) به تعداد ۱۸ پرسشنامه اشاره کرد. ساختار سلسله مراتبی با توجه به هدف مورد مطالعه، شامل چند بعد بوده که هرکدام از بعدها دارای چند زیرمعیار بودند. چگونگی انتخاب زیرمعیارها، بر اساس نظر کارشناسان و مدیران خبره و همچنین مطالعات انجام‌شده قبلی در سطح کشور و برخی معیارهایی که در نقاط مختلف جهان از آن استفاده کردند، بود؛ بنابراین تلفیق عوامل گفته‌شده بدون هم‌پوشانی زیرمعیارها بسیار حائز اهمیت بوده که در این مطالعه سعی شد تا از تکرار و هم‌پوشانی زیرمعیارها جلوگیری به عمل آید. ضمن اینکه تاکنون چنین مطالعه‌ای انجام نشده و از ابتدا تا انتهای این پژوهش نوآوری داشته و نتایج آن برای متولیان آب کشور کاملاً کاربردی می‌باشد.

هدف از این بخش کار و به‌کارگیری رویکرد تحلیل سلسله مراتبی (AHP) این بود تا راهکارها و پیشنهادهایی در راستای اثربخشی و کاربردی نمودن پژوهش‌های فناورانه آب در کشور ارائه شود. در بخش اول پروژه به بررسی و آسیب‌شناسی طرح‌ها و پژوهش‌های فناورانه آب کشور پرداخته شده و ضمن شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید ۱۰ فناوری منتخب شناسایی شده، راهکارهای اثربخشی ارائه شد (Pourgholam-Amiji et al., 2023).

حال می‌بایست راهکارهای فنی و عملیاتی ارائه شود. بر همین اساس نیاز به یک سری معیار یا بعد اصلی می‌باشد تا بتوان فناوری‌ها را از چندین جهت موردبررسی قرارداد تا بتوان فهمید دلیل محبوبیت و به‌کارگیری یک فناوری در چیست و چرا دیگر فناوری به مرحله اجرا و کاربرد نمی‌رسد. ساختار سلسله مراتبی با توجه به هدف مورد مطالعه، شامل چهار بعد فنی^۱، اقتصادی^۲، اجتماعی^۳ و زیست‌محیطی^۴ تعریف شد که هرکدام از بعدها دارای چند زیرمعیار بودند. زیرمعیارها کمک می‌کند تا بعد از شناسایی مهم‌ترین معیارها، دلایل مهم، دقیق و جزئی‌تر شناسایی و تمرکز بر حل مسئله افزایش یابد. شکل (۲)، شمای کلی از ساختار سلسله مراتبی پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. در این شکل ابتدا هدف

³ Social

⁴ Environmental

¹ Technical

² Economic

سخت و پیچیده و البته مهمی است که حتماً باید طبق نظر متخصصین و بر اساس پژوهش‌های معتبر پیشین صورت گیرد.

کلی تعیین‌شده و برای آن چهار معیار اصلی که شامل فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است، در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که انتخاب معیارها و زیرمعیارها (گزینه‌ها) کار بسیار



شکل ۲- ساختار و شماتیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پژوهش حاضر

S1 تا S4 به ترتیب زیرمعیارهای سهولت تعمیر، مصرف انرژی، عدم پیچیدگی و عمر مفید

W1 تا W4 به ترتیب زیرمعیارهای سودآوری برای مصرف‌کننده، قیمت خرید، لوازم جانبی ارزان و هزینه بهره‌برداری و نگهداری

O1 تا O4 به ترتیب زیرمعیارهای پذیرش فناوری، تسهیلات دولتی، سطح سواد کاربر و عدم بروکراسی اداری

T1 تا T4 به ترتیب زیرمعیارهای استفاده از آب‌های نامتعارف، تولید حداقل پسماند و ضایعات، سازگاری با اقلیم و سوخت پاک

امتیازهای ۲ تا ۹ میزان ارجحیت هر پارامتر را نشان می‌دهد. امتیازهای زوج نیز حداقل بین امتیازهای فرد می‌باشد.

جدول ۱- نحوه امتیازدهی به معیارها و زیرمعیارهای تصمیم‌گیری در روش AHP

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل قوی

امتیازدهی در روش تحلیل سلسله مراتبی

محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، در دو قسمت جداگانه موردبحث قرار می‌گیرد: وزن نسبی و وزن نهایی. وزن نسبی از ماتریس مقایسه زوجی به دست می‌آید؛ درحالی‌که وزن مطلق رتبه نهایی هر گزینه می‌باشد که از تلفیق وزن‌های نسبی

امتیازدهی در روش تحلیل سلسله مراتبی

در خصوص تکمیل پرسشنامه‌ها و نحوه امتیازدهی باید گفت که ابتدا زیرمعیارهای هر بعد با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت هر بعد به‌طور مجزا موردبررسی قرار گرفت. هر کدام از گزینه‌ها که مهم‌تر از گزینه روبرویی آن است در قسمت مرتبط به همان سؤال، امتیاز ۲ تا ۹ داده می‌شود. هر چه عدد به ۹ نزدیک‌تر باشد، بیانگر ارجحیت بیشتر گزینه در مقایسه با گزینه مقابل خواهد بود. چنانچه گزینه‌ها به یک اندازه مهم باشند، گزینه برابر (امتیاز یک) انتخاب خواهد شد (Wind & Saaty, 1980). لازم به ذکر است که تفاوت در نظر کارشناسان و امتیازدهی آن‌ها به زیرمعیارها امری طبیعی و بدیهی بوده که این تفاوت، تأثیر خود را در نتایج خروجی مدل نشان داد. جمع‌بندی نتایج و خروجی نرم‌افزار، این تفاوت یا تشابه نظر کارشناسان را نشان داده و گزینه برتر بر اساس نظرات غالب کارشناسان استخراج می‌شود. جدول (۱)، نحوه امتیازدهی در الگوی سلسله مراتبی را نشان می‌دهد. امتیاز ۱، میزان برابری آیت‌ها و

محاسبه نرخ ناسازگاری

یک ماتریس ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد اما Wind & Saaty (1980) عدد ۰/۱ یا مساوی آن را به عنوان حد قابل قبول ارائه کرده و معتقد هستند چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، باید در نحوه امتیازدهی به زیرمعیارها تجدیدنظر صورت گیرد. در جدول (۲)، اعداد شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی نشان داده شد.

n	۱	۲	۳	۴	۵
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲
n	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.^۵) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R.^۶) هم‌بعدش، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که آن را نرخ ناسازگاری (I.R.^۷) می‌نامند. چنانچه این عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر نمود. مقدار شاخص ناسازگاری (I.I.) از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$I.I. = \lambda_{max} - n/n - 1 \quad (3)$$

که در این رابطه n تعداد معیار و λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس می‌باشند. نرخ ناسازگاری (I.R.) از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$I.R. = I.I./I.I.R. \quad (4)$$

حاصل تقسیم I.I./I.I.R، نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

محاسبه می‌گردد. به طور کلی، یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i ام به عنصر j ام است که با توجه به مقدار a_{ij} ها وزن عناصر یعنی w_i ها به دست می‌آید.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

در حالتی که ماتریس زوجی سازگار باشد، محاسبه وزن (w_i) ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به دست می‌آید؛ اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد محاسبه وزن ساده نبوده و برای به دست آوردن آن چهار روش عمده مطرح شده که عبارت‌اند از روش حداقل مربعات^۱، روش حداقل مربعات لگاریتمی^۲، روش بردار ویژه^۳ و روش‌های تقریبی^۴ که در این پژوهش از روش بردار ویژه در قالب نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد.

روش بردار ویژه

روش بردار ویژه دارای روابط حجیم و کمی پیچیده بوده که دستگاه معادلات خلاصه‌شده را می‌توان به صورت رابطه (۲) نوشت.

$$A.w = \lambda.w \quad (2)$$

که همان ماتریس مقایسه زوجی {یعنی $A = [a_{ij}]$ } و بردار وزن و λ یک کمیت اسکالر (عدد) است. طبق تعریف چنانچه این رابطه بین یک ماتریس (A) و بردار (w) و عدد (λ) برقرار باشد؛ گفته می‌شود که w بردار ویژه و λ مقدار ویژه برای ماتریس A می‌باشند. در نهایت وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید.

⁵ Inconsistency Index

⁶ Inconsistency Index of Random Matrix

⁷ Inconsistency Ratio

¹ Least Squares Method

² Logarithmic Least Squares Method

³ Eigenvector Method

⁴ Approximation Methods

تا تمام ابعاد یک فناوری از نظر مصرف‌کننده دیده شود، بنابراین نتایج جالب‌توجهی نیز حاصل می‌شود.

بدین منظور پرسشنامه‌ای تهیه و توسط افراد متخصص، مجرب و مسلط به موضوع تکمیل شد. شایان ذکر است که در این بخش نیز این افراد شامل اساتید دانشگاه، مدیران بخش آب کشور، کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی و شهرداری، محققان، کشاورزان، مشاور علمی نماینده مجلس و دانشجویان بودند و تعداد پرسشنامه‌ای که توسط این افراد خبره تکمیل شد، ۱۵ نفر بود. این بخش از کار در پاییز و زمستان ۱۴۰۱ انجام و در بهار ۱۴۰۲ تحلیل و تفسیر شد.

نتایج و بحث

خلاصه‌ای از نتیجه بخش قبلی که مرتبط با پژوهش حاضر است، ارائه می‌شود. از قبل تعداد ۷۰ فناوری، اختراع و ابداعاتی که در حوزه آب و انرژی (شرب، صنعت، کشاورزی، محیط‌زیست و غیره) دخیل هستند، شناسایی شدند. سپس با نظر متخصصین و افراد خبره مجرب، ۱۰ مورد از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین فناوری‌های برای آسیب‌شناسی و شناخت عوامل موفقیت و شکست فناوری‌های آب انتخاب شدند. در نهایت با استفاده از مدل SWOT، مهم‌ترین نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید این ۱۰ فناوری تجزیه و تحلیل شدند (Pourgholam-Amiji et al., 2023). حال نوبت به این رسیده است که از بین بهترین نقطه قوت (افزایش راندمان و صرفه‌جویی قابل توجه آب)، ضعف (هزینه بالای طراحی، ساخت و یا اجرا)، فرصت (تغییر رویکرد سیاست‌گذاری‌های کلان کشور و پذیرش فناوری جدید) و تهدید (بروکراسی اداری و عدم تسریع فرایند ثبت اختراع و استفاده از فناوری) شناسایی شده، مجدداً پالایش‌های دقیق و علمی صورت گیرد تا بتوان راهکارهای اثربخش را تعیین و جنبه اجرایی این پژوهش را آشکار کرد. بدین‌منظور این پژوهش ادامه یافت و پرسشنامه مربوط به تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بود، تهیه و تکمیل شد. در نهایت نتایج آن با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice تحلیل و در بخش‌های ذیل ارائه شده است.

نرم‌افزار Expert Choice

نرم‌افزار Expert Choice که یک ابزار حمایت از تصمیم‌چندهدفه بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد، در سال ۱۹۸۰ توسط موسسه انتخاب برتر^۱ در دانشگاه جرج واشینگتن، ایالت ویرجینیا آمریکا توسعه یافت. این نرم‌افزار در موارد مختلف از جمله تخصیص منابع، انتخاب گزینه‌ها، برنامه‌ریزی تحلیلی، آنالیز سود و هزینه، مدیریت عملکرد و غیره استفاده می‌شود که توانمندی‌های زیادی داشته و قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات در پارامترهای مسئله را نیز دارا است (قدسی‌پور، ۱۳۹۵). بعد از تعریف پروژه و تعیین هدف در نرم‌افزار Expert Choice، معیارهای اصلی یا همان بعدها به نرم‌افزار وارد شدند. سپس برای هر کدام از بعدها، زیرشاخه‌ها تشکیل و داده‌های مربوط به پرسشنامه‌ها وارد آن شد. در نهایت وزن مربوط به هر کدام از زیرشاخه و بعدها اصلی برآورد شد. بعد از واردکردن داده‌ها، نرم‌افزار نرخ ناسازگاری را محاسبه کرده و در صورتی که بیشتر از ۰/۱ باشد، خطا وجود داشته و لذا از روش بردار ویژه برای سازگار کردن ماتریس استفاده می‌شود تا وزن‌ها به‌درستی محاسبه شوند (اخوان و همکاران، ۱۴۰۲).

تهیه پرسشنامه و توزیع-تکمیل آن برای نرم‌افزار Expert Choice

بعد از شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدیدها در هر کدام از بخش‌های فناوری ۱۰ گانه با استفاده از مدل SWOT و بررسی و آسیب‌شناسی عدم اجرایی شدن فناوری‌های حوزه آب، نوبت به این رسید تا راهکارهای اثربخشی و بخش‌های قابل تمرکز بیشتر شناسایی شود (Pourgholam-Amiji et al., 2023). این کار با استفاده از روش AHP و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. نتایج این بخش منجر به شناسایی مهم‌ترین معیارهای موفقیت و یا شکست فناوری‌های حوزه آب شده و حتی در هر معیار، برترین زیرمعیار یا زیربخش‌ها (که خود دارای ابعاد مثبت یا منفی هستند و موفقیت یا شکست فناوری را نشان می‌دهند)، مشخص می‌شوند. چون معیارها به‌گونه‌ای انتخاب شدند

^۱ Top Choice Institute

تفسیر نرخ ناسازگاری

بعد از دریافت تمام پرسشنامه‌ها، نوبت به وارد کردن اطلاعات آن‌ها در نرم‌افزار Expert Choice رسید. در این مرحله هدف کلی معرفی و معیارها و زیرمعیارها یا همان گزینه‌ها تعیین شد. بعد از وارد کردن امتیاز داده‌شده در پرسشنامه‌ها برای هر بخش، وزن معیار و زیرمعیار مربوطه مشخص شد. روش AHP برای تعیین اوزان معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها استفاده شده و مقایسه زوجی بین هر کدام از سطوح معیارها و زیرمعیارها انجام می‌شود.

الگوریتم محاسبه نرخ ناسازگاری یک ماتریس در پنج مرحله انجام شده و نتایج این بخش در جدول (۳) نشان داده شده است؛ بنابراین نرخ ناسازگاری برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها محاسبه شد. چنانچه ملاحظه می‌شود، در این مطالعه نرخ ناسازگاری معیارهای اصلی ۰/۰۹ به دست آمد و چون کمتر از ۰/۱ می‌باشد، بنابراین سازگاری ماتریس مقایسه زوجی مورد قبول است. به عبارتی مقدار ناسازگاری در حد معقول خود بوده و ماهیت داده‌ها و پرسشنامه‌ها، دچار مشکل نیست (اخوان و همکاران، ۱۴۰۲).

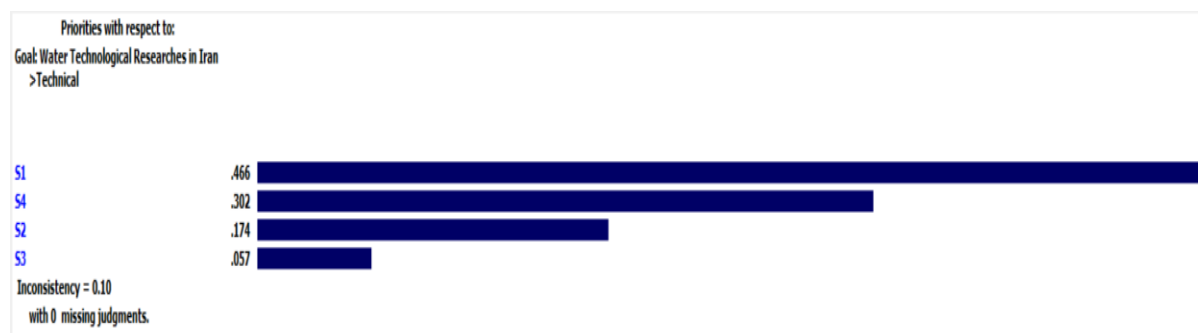
جدول ۳- محاسبه نرخ ناسازگاری

λ_{max}	n	I.I.R	I.I.	I.R.
۵/۳۸۱۶۸	۵	۱/۱۲	۰/۰۹۵	۰/۰۹

تجزیه و تحلیل معیار فنی

بعد از اجرای نرم‌افزار Expert Choice، نتایج معیارهای اصلی و زیرمعیارهای آن به دست آمد که خروجی‌های آن در بخش‌های زیر ارائه است. (نکته: دلیل اینکه دقیقاً خروجی نرم‌افزار ارائه و شکل‌های با کیفیت‌تری به صورت دستی تهیه نشد، این است تا مخاطب با نحوه کار نرم‌افزار و ارائه نتیجه گرافیکی و تصویری آن آشنا شود). نتایج رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد فنی (S) بر اساس روش AHP نشان می‌دهد که برترین زیرمعیارها در این معیار به ترتیب S1، S4 و S2 می‌باشند (شکل ۳). زیرمعیار S1 بیانگر "سهولت تعمیر" بوده و از آنجایی که دغدغه و ابهام اصلی مصرف‌کنندگان (اعم از بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی)،

سادگی استفاده و کار با ابزارهای جدید و همچنین تعمیر فناوری‌های نوین (در صورت خرابی) بوده است، لذا این عامل مورد توجه کارشناسان قرار گرفته و بیشترین وزن (۰/۴۶۶) را به خود اختصاص داد. گزینه دوم زیرمعیار S4 یا "عمر مفید" بوده که آن هم به دلیل هزینه‌ای که صرف خرید یا توسعه یک فناوری و اختراع جدید می‌شود، قطعاً برای به‌کارگیرنده آن حائز اهمیت است. زیرمعیار S4 با وزن ۰/۳۰۲ در جایگاه دوم معیار فنی قرار گرفت. با توجه به این که نوسانات مصرف انرژی در فصول مختلف (در فصول گرم مصرف برق و در فصول سرد مصرف گاز) تقریباً بالا می‌باشد، لذا متخصصینی که پرسشنامه‌ها را تحلیل کردند، به زیرمعیار S2 یا "مصرف انرژی" هم توجه ویژه داشته و وزن قابل توجهی (۰/۱۷۴) را برای آن لحاظ کردند. صرف از نظر نوع فناوری که در هر کدام از بخش‌ها ممکن است به کار گرفته شود، تأمین انرژی و در دسترس بودن آن همیشه مورد دغدغه می‌باشد. به همین دلیل زیرمعیار "مصرف انرژی" در رتبه سوم قرار گرفت. در نهایت زیرمعیار S3 (عدم پیچیدگی) با وزن ۰/۰۵۷ در رتبه چهارم قرار گرفت و از نظر متخصصین، نوع کاربرد و مزایای حاصل شده از اجرایی شدن فناوری‌ها، اهمیت بیشتری از پیچیدگی آن دارد. در نهایت همان‌طور که از شکل (۳) پیداست، نرخ ناسازگاری برای معیار فنی و زیرمعیارهای آن ۰/۱ به دست آمد که معقول و منطقی است؛ بنابراین بر اساس نقطه قوت شناسایی شده از نتایج بخش قبلی که گزینه "افزایش راندمان و صرفه‌جویی قابل توجه آب" در صورت استفاده از اختراعات و پژوهش‌های فناورانه جدید در صنعت آب بود، از دیدگاه فنی مهم‌ترین گزینه‌ها شناسایی شدند که به ترتیب شامل سهولت تعمیر، عمر مفید، مصرف انرژی و عدم پیچیدگی بوده و باید توجه ویژه‌ای به آن شود. مطالعات نائینی و همکاران (۱۳۹۸)، مرادزاده و همکاران (۱۳۹۹)، پورصمصام و همکاران (۱۴۰۰) و اخوان و همکاران (۱۴۰۲) نیز تأکید بر لزوم در نظر گرفتن مسائل فنی در پروژه‌ها تأکید داشتند.



شکل ۳- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد فنی

تجزیه و تحلیل معیار اقتصادی

شکل (۴)، رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اقتصادی (W) را نشان می‌دهد که برترین آن به ترتیب W4، W3 و W1 بودند. از بین چهار زیرمعیار مورد بررسی، W4 "هزینه بهره‌برداری و نگهداری" برترین گزینه از نظر کارشناسان بوده است. به دلیل اینکه این هزینه مستتر بوده و در اکثر پروژه‌ها نادیده گرفته می‌شود، لذا کارشناسان تأکید داشتند که باید در ابتدای کار یعنی تهیه و خرید یک فناوری این هزینه دیده شود تا در موقع به‌کارگیری فناوری‌های جدید، هزینه‌های گزاف بهره‌برداری و نگهداری گریبان گیر نشود. لذا در معیار اقتصادی، زیرمعیار "هزینه بهره‌برداری و نگهداری" با وزن ۰/۳۷۴ به‌عنوان مهم‌ترین گزینه شناخته شد که باید در پروژه‌ها دیده شود.

رتبه دوم از بعد اقتصادی، مربوط به زیرمعیار W3 یا "لوازم جانبی ارزان" بوده که حقیقتاً نکته مهمی است؛ زیرا اگر قیمت خرید یک فناوری ارزان و یا اصلاً مناسب باشد، قطعاً خرابی و یا تعمیر نیاز خواهد داشت (همانند گزینه اول در معیار فنی). فلذا دسترسی آسان به لوازم جانبی و ارزان بودن آن با وزن ۰/۲۷ در جایگاه دوم معیار اقتصادی قرار گرفت. از آنجایی که میزان سود حاصل از استفاده اختراعات و فناوری جدید قطعاً در اولویت مصرف‌کنندگان کشاورزی، صنعت، شرب و حتی محیط‌زیست بسیار مهم است، زیرمعیار W1 یا "سودآوری برای مصرف‌کننده" جزء انتخاب سوم بود. وزن این زیرمعیار ۰/۲۲۳ به دست آمد.

سودآوری هم می‌تواند مالی و هم به صورت یارانه یا ذخیره آب برای استفاده‌های آبی باشد. در نهایت گزینه W2 یا "قیمت خرید" یک محصول با وزن ۰/۱۳۳ به‌عنوان آخرین گزینه شناسایی شد. این بدان معنی است که هزینه بهره‌برداری و نگهداری < لوازم جانبی ارزان < سودآوری برای مصرف‌کننده، ارزش بیشتری داشته و زیرمعیار قیمت خرید در این چرخه عامل بسیار مهمی نمی‌باشد؛ زیرا یک محصول ممکن است ارزان باشد اما هزینه‌های جانبی آن زیاد و گران بوده و ارزش افزوده خاصی ایجاد نکند (شکل ۴). البته شایان‌ذکر است که قرارگیری زیرمعیار "قیمت خرید" در جایگاه چهارم، به معنی بی‌ارزش یا کم‌ارزش بودن آن نیست زیرا همین چهار گزینه از بین تعداد زیادی گزینه کاندید انتخاب شدند. این موضوع برای معیار فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی هم صادق است. در بعد اقتصادی، نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ به دست آمد که عدد بسیار مناسبی است؛ بنابراین طبق نقطه ضعف شناسایی شده از نتایج بخش قبلی که دلیل اصلی شکست و عدم اجرایی شدن پژوهش‌های فناوریانه آب گزینه "هزینه بالای طراحی، ساخت و یا اجرا" بود، بنابراین برای غلبه بر این مهم باید به ترتیب به زیرمعیارهای هزینه بهره‌برداری و نگهداری، لوازم جانبی ارزان، سودآوری برای مصرف‌کننده و قیمت خرید از بعد اقتصادی توجه ویژه‌ای داشت. قدوسی و ملکشی (۱۳۹۳)، مرادزاده و همکاران (۱۳۹۸) و مقامی مقیم (۱۴۰۱) نیز به لزوم و اهمیت در نظر گرفتن مسائل اقتصادی در ارزیابی پروژه‌ها اذعان داشته‌اند.

Priorities with respect to:
Goal: Water Technological Researches in Iran
>Economic



شکل ۴- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اقتصادی

که موارد دیگری هم غیر از تسهیلات دولتی دخیل هستند و نیاز به توجه دارند. در نهایت زیرمعیار O3 یا "سطح سواد کاربر" آخرین گزینه بوده و با وزن ۰/۰۴۳، از درجه اهمیت خیلی کمی برخوردار شد. منطقی هم هست که این گزینه ارزش و وزن کمتری (۰/۰۴۳) به خود اختصاص داده است زیرا سطح سواد اهمیت چندانی ندارد و دیگر گزینه‌ها بیشتر در اولویت هستند. نرخ ناسازگاری نیز برابر با ۰/۰۹ به دست آمد (شکل ۵).

مهم‌ترین نقطه فرصت شناسایی شده از مرحله قبلی پژوهش حاضر، "تغییر رویکرد سیاست‌گذاری‌های کلان کشور و پذیرش فناوری جدید" بود. این موضوع دقیقاً با یافته‌های این بخش در تطابق کامل است. بدان معنی که برای استفاده از فرصت و تبدیل آن به یک نقطه موفقیت و در نهایت اجرایی شدن فناوری‌های آب، باید به ترتیب به زیرمعیارهای پذیرش فناوری، عدم بروکراسی اداری، تسهیلات دولتی و سطح سواد کاربر توجه داشت. در ارتباط با این موضوع، قدوسی و ملکشی (۱۳۹۳) بیان کردند که عوامل اجتماعی جزء تأثیرگذار در انتخاب سیستم آبیاری بارانی است. کاظمی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی اثرات سیاست‌های کاهش مصرف آب بر پایداری زراعی در اقلیم میانی استان گلستان و اخوان و همکاران (۱۴۰۲) به نقش معیارهای اجتماعی در کاربرد مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی تناسب اراضی اشاره کردند. این موارد با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد.

تجزیه و تحلیل معیار اجتماعی

شکل (۵)، رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اجتماعی (O) را نشان می‌دهد. در این شکل، سه مورد برتر گزینه‌های O1، O4 و O2 می‌باشند. زیرمعیار O1 یا "پذیرش فناوری" توسط مصرف‌کنندگان جزء ارزشمندترین گزینه‌ها از دید کارشناسان بوده و اتفاقاً گزینه مهمی هم است زیرا تا وقتی که یک فناوری جدید مورد پذیرش عموم جامعه واقع نشود، نمی‌توان درباره باقی بخش‌ها صحبت کرد؛ بنابراین این حاکی از هوش و دقت بالای متخصصین در امتیازدهی به معیارها و زیرمعیارها بود. "پذیرش فناوری" با وزن ۰/۵۰۷ در رتبه نخست معیار اجتماعی قرار گرفت. یکی از دلایل موفقیت پروژه‌ها، نبود بروکراسی اداری و پیچیدگی‌های سازمانی است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، این گزینه به عبارتی پاشنه آشیل بوده و اجرایی شدن فناوری‌های حوزه آب، در گروه نبودن بروکراسی اداری است. به همین دلیل زیرمعیار O4 یا "عدم بروکراسی اداری" با وزن ۰/۳۰۶، رتبه دوم را کسب کرد.

زیرمعیار O2 یا "تسهیلات دولتی" نیز با وزن ۰/۱۴۴، رتبه سوم را در این بخش کسب کرد زیرا بحث تخصیص اعتبارات کلان برای حمایت از تولید، به‌کارگیری، راه‌اندازی و اجرای فناوری‌های نوآورانه و اختراعات بسیار مهم و ضروری می‌باشد. با توجه به اهمیت اعتبارات دولت برای پشتیبانی از فناوران، زیرمعیار "تسهیلات دولتی" جزء گزینه‌های میانی بوده و بدان معنی است



شکل ۵- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اجتماعی

بهتری در صدر قرار گرفتند. زیرمعیار T1 بدین معنی است که اگر فناوری مورد نظر از آب‌های نامتعارف و آلوده برای مصارف مختلف استفاده کند، مقبولیت و مشروعیت بیشتری خواهد داشت. در نهایت زیرمعیار T3 یا "سازگاری با اقلیم" با وزن ۰/۰۳۸ در جایگاه چهارم قرار گرفت و آخرین گزینه معیار زیست‌محیطی شد. نرخ ناسازگاری در معیار اجتماعی برابر با ۰/۰۸ به دست آمد که در محدوده مجاز قرار دارد (شکل ۶). مهم‌ترین نقطه تهدید شناسایی‌شده در مرحله قبلی، "بروکراسی اداری و عدم تسریع فرایند ثبت اختراع و استفاده از فناوری" بود. این یعنی تبدیل تهدید به فرصت و موفق شدن فناوری‌ها و اجرایی شدن آن، باید بر بروکراسی اداری غلبه کرد؛ بنابراین از دید زیست‌محیطی در نظر گرفتن گزینه‌های به ترتیب تولید حداقل پسماند و ضایعات، سوخت پاک، استفاده از آب‌های نامتعارف و سازگاری با اقلیم، تضمین‌کننده موفقیت پروژه‌هاست. در همین رابطه، گودرزی (۱۴۰۱)، موسوی و همکاران (۱۴۰۲) و فقیهی و جهان‌تبیغ (۱۴۰۲)، توجه به معیار زیست‌محیطی و اهمیت آن در پروژه‌ها تأکید داشتند.

تجزیه و تحلیل معیار زیست‌محیطی

رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد زیست‌محیطی (T) نشان داد که گزینه‌های برتر آن به ترتیب T2، T4 و T1 است (شکل ۶). با توجه به اینکه فناوری‌های صنعت آب به‌ویژه آن‌هایی که در امر تصفیه وجود دارند، ذاتاً پسماندی را تولید می‌کنند، این مورد یعنی زیرمعیار T2 یا "تولید حداقل پسماند و ضایعات" مورد توجه ویژه متخصصین بوده و بیشترین امتیاز (۰/۵۰۳) را کسب کرد. معقول است که برترین گزینه، ارتباط نزدیکی با محیط پیرامون دارد. از طرفی ضمن اینکه فناوری مورد نظر باید از نظر فنی و اقتصادی توجیه‌پذیری داشته و از نظر اجتماعی مورد مقبول عموم قرار گیرد، اما از سوی دیگر باید به مباحث زیست‌محیطی توجه ویژه‌ای داشت. در تکمیل موارد فوق و ب یک روند کاملاً منطقی، زیرمعیار T4 یا "سوخت پاک" نیز رتبه دوم را با امتیاز ۰/۳۵۸ کسب کرد. اینکه یک فناوری از سوخت‌های پاک و انرژی‌های نو استفاده کند، باید مورد توجه مسئولین امر باشد. زیرمعیار T1 یا "استفاده از آب‌های نامتعارف" گزینه‌ای است که حتی می‌توانست امتیاز بیشتر از ۰/۱۰۲ و جایگاه بهتری را کسب کند اما به‌رحال گزینه‌های



شکل ۶- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد زیست‌محیطی

تجزیه و تحلیل معیارهای اصلی

۰/۳۲۰، ۰/۱۰۸ و ۰/۰۴۹ به دست آمد. فاصله بین معیار فنی و اقتصادی زیاد بوده و این یعنی توجه به "معیار فنی"، در وهله اول و جزء مهم‌ترین عوامل موفقیت پروژه‌های فناورانه به حساب می‌آید. همچنین "معیار اقتصادی" نیز در جایگاه دوم قرار گرفت و بدان معنی است که برای جلوگیری از عدم اجرایی شدن اختراعات و نوآوری‌ها در صنعت آب، توجه به مسائل اقتصادی نیز اهمیت بالایی دارد.

بعد از تحلیل زیرمعیارهای مربوط به چهار بعد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و شناخت مهم‌ترین گزینه‌ها در هر بخش، نهایتاً نوبت به مقایسه معیارهای اصلی می‌رسد. در شکل (۷)، رتبه‌بندی کلی معیارهای اصلی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، وزن نهایی معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به ترتیب برابر با ۰/۵۲۲،



شکل ۷- رتبه‌بندی کلی معیارهای اصلی

راهکارهای اثربخشی تقویت موفقیت و جلوگیری از شکست فناوری‌های آب

بعد از مشخص شدن وضعیت زیرمعیارهای هر بعد و همچنین مقایسه بین معیارهای اصلی، لازم است که یک دید کلی و نتیجه‌گیری نهایی از نتایج این بخش ارائه شود. به همین منظور، وزن نهایی هر کدام از زیرمعیارها بر اساس وزن چهار معیار فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی محاسبه و در جدول (۴) ارائه شد. با توجه به اینکه در بخش مقایسه بین معیارهای اصلی، بعد فنی بیشترین امتیاز را داشت، در نهایت گزینه‌های مربوط معیار فنی در رتبه‌بندی نهایی هم ظاهر شده و بیشترین امتیاز نهایی بین زیرمعیارها را کسب کردند. بعد از آن، زیرمعیارهای بعد اقتصادی در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند.

"معیار زیست‌محیطی" نیز در رتبه سوم قرار گرفت. اینکه در گره‌های مصرف‌کننده به این موضوع توجه شده است، جای بسی شکر دارد اما اینکه معیار اجتماعی متأسفانه در جایگاه آخر قرار گرفته، جای نگرانی است؛ زیرا اگر فناوری‌های جدید مورد مقبول و پذیرش قرار نگیرد، اصلاً نمی‌توان هیچ کاری صورت داد (شکل ۷).

نتایج این بخش با یافته‌های پورصمصام و همکاران (۱۴۰۰)، مقامی مقیم و همکاران (۱۴۰۱)، موسوی و همکاران (۱۴۰۲) و Omeka et al. (2023) در رابطه با اهمیت رتبه‌بندی معیارهای اصلی و تأثیر آن بر روی نتایج و تصمیم‌گیری‌های کلان مطابقت دارد. پس از رتبه‌بندی معیارهای اصلی و همچنین شناخت برترین گزینه‌ها در زیرمعیارهای چهارگانه، نوبت به جمع‌بندی و ارائه راهکارهای اثربخشی رسیده است.

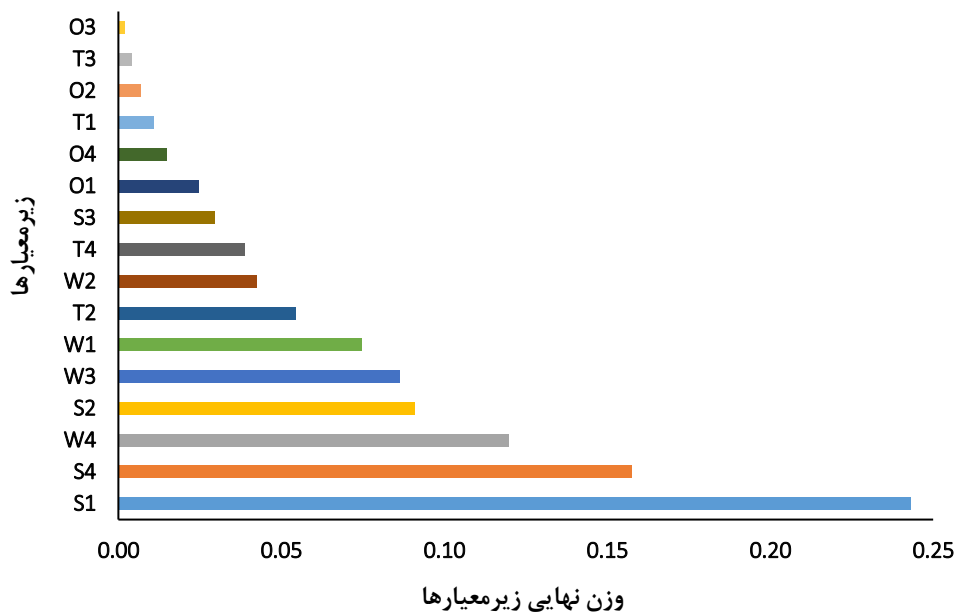
جدول ۴- وزن‌دهی نهایی به زیرمعیارها بر اساس وزن چهار معیار فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی

معیارها	وزن معیار	زیرمعیار	وزن نهایی زیرمعیار
معیار فنی	۰/۵۲۲	S1	۰/۲۴۳
		S2	۰/۰۹۱
		S3	۰/۰۳۰
		S4	۰/۱۵۸
معیار اقتصادی	۰/۳۲۰	W1	۰/۰۷۵
		W2	۰/۰۴۳
		W3	۰/۰۸۶
		W4	۰/۱۲۰
معیار اجتماعی	۰/۰۴۹	O1	۰/۰۲۵
		O2	۰/۰۰۷
		O3	۰/۰۰۲
		O4	۰/۰۱۵
معیار زیست‌محیطی	۰/۱۰۸	T1	۰/۰۱۱
		T2	۰/۰۵۴
		T3	۰/۰۰۴
		T4	۰/۰۳۹

را کسب کردند، هفت مورد مربوط به معیارهای فنی و اقتصادی بوده و توجه به آن، تضمین‌کننده موفقیت پروژه‌های فناورانه صنعت آب است.

از طرف دیگر، از شش مورد آخر، چهار مورد مربوط به زیرمعیارهای بعد اجتماعی بوده و کمترین وزن نهایی را داشتند. سه موردی که وزن نهایی آن از بقیه زیرمعیارهای این پژوهش کمتر بود، شامل O3 (سطح سواد کاربر با وزن نهایی ۰/۰۰۲)، T3 (سازگاری با اقلیم با وزن نهایی ۰/۰۰۴) و O2 (تسهیلات دولتی با وزن نهایی ۰/۰۰۷) بودند. در حالت کلی، زیرمعیارهای بعد زیست‌محیطی و اجتماعی جزء گزینه‌های کم‌اهمیت بودند که تأمل برانگیز است زیرا به این دو مبحث مهم، آن‌طور که باید و شاید، توجه نشده است.

در تکمیل توضیحات بیان شده فوق، شکل (۸)، به طریقی دیگر رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها را نشان می‌دهد. گزینه‌ای که در معیار فنی هم برترین گزینه شده بود، با اختلاف نسبت به دیگر عوامل به‌عنوان برترین زیرمعیار انتخاب شد. این زیرمعیار "سهولت تعمیر" (S1) از معیار فنی با وزن نهایی ۰/۲۴۳ بود. همچنین وزن نهایی زیرمعیارها نشان داد که رتبه دوم مربوط به "عمر مفید" (S4) از معیار فنی (با وزن ۰/۱۵۸) و رتبه سوم مربوط به "هزینه بهره‌برداری و نگهداری" (W4) از معیار اقتصادی (با وزن ۰/۱۲۰) می‌باشد. به‌طور کلی دو گزینه اول در بعد فنی و گزینه برتر در بعد اقتصادی، به‌عنوان مؤثرترین عوامل در اثربخشی تقویت موفقیت و جلوگیری از شکست فناوری‌های آب نقش دارند و باید در فناوری‌های جدید، این زیرمعیارها تأمین شود. رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها نشان می‌دهد که از هشت گزینه اول که بیشترین امتیاز



شکل ۸- رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها برای شناخت مهم‌ترین گزینه‌های معیارهای چهارگانه

باید به صورت یکپارچه تمام معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

از دلایل اصلی شکل‌گرفتن ایده پژوهش حاضر این بود که ایده‌های جدید، اختراعات کاربردی و فناوری‌های ساخته‌شده حوزه آب به طرز درست و صحیحی مورد کاربرد قرار نمی‌گیرند. از طرفی بررسی‌ها نشان می‌دهد آن‌طور که بایدوشاید از فناوری‌های ساخته‌شده و اختراعاتی که در بخش‌های مختلف آب (شرب، صنعت و کشاورزی) توسعه یافته‌اند، در مقام اجرا استفاده نمی‌شود؛ بنابراین لازم است که مشکلات موجود موشکافی شده و راه‌حل‌های علاج‌بخش برای ورود فناوری‌های جدید در صنعت آب ارائه شود. رسالت انجام این پروژه نیز بر ارائه برنامه‌های آسیب‌شناسی- اثربخشی و کاربرد محور برای آن‌ها استوار است. لازمه کاربرد فناوری‌های جدید و اختراعاتی که کمک زیادی به صرفه‌جویی در مصرف می‌کنند، یک سری عوامل و معیارهایی است که نیازمند بررسی است. در ارزیابی اجرای هرگونه طرح جدید، عوامل متعددی از قبیل فنی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و غیره دخالت دارند؛ به طوری که هرکدام از عوامل می‌تواند همسو و

بررسی‌ها نشان داد که مسائل فنی و اقتصادی از دیدگاه کارشناسان بیش از سایر عوامل مورد توجه قرار گرفته است. این رویکرد کارشناسان در راستای دغدغه‌های اصلی مصرف‌کننده از قبیل سهولت تعمیر ابزار، عمر مفید دستگاه یا فناوری و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری اختراعات می‌باشد اما شایان‌ذکر است که عدم توجه به مسائل اجتماعی (ازجمله پذیرش این فناوری‌ها نزد مردم، عدم بروکراسی اداری در دستگاه‌های اجرایی و سازمان‌ها، تسهیلات دولتی و حمایت‌های مادی و معنوی و در نهایت سطح سواد عموم) و زیست‌محیطی (اعم از تولید حداقل پسماند و ضایعات هنگام تصفیه یا استفاده مجدد از منابع آب، سوخت پاک و تجدیدپذیر، استفاده از آب‌های دست‌چندم، نامتعارف و آلوده و در انتها سازگاری با اقلیم و محیط اطراف)، پایه‌گذار شکست پروژه‌های فناورانه آب، عامل محدودکننده توسعه و یکی از دلایل اصلی عدم اجرایی شدن اختراعات و نوآوری‌های حوزه صنعت آب خواهد شد. به‌هرحال باید توجه داشت که مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی در درازمدت در خصوص هرگونه توسعه، اجرا و به‌کارگیری روش‌های جدید باید مورد توجه قرار گیرد. به‌طورکلی در کنار دیدگاه کارشناسان و مدیران در خصوص ارائه راهکارهای اثربخشی تقویت موفقیت و جلوگیری از شکست فناوری‌های آب،

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی سربازنخبه نویسنده اول با کد پروژه ALSE6-00013 می‌باشد. بدین وسیله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای البرز به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی، در اختیار قراردادن داده‌ها و تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش و تهیه مقالات مربوطه سپاس‌گزاری می‌شود. همچنین از آقای پروفیسور عبدالمجید لیاقت (استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران) به دلیل کمک‌های بی‌دریغشان، کمال قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- اخوان، س.، جلالیان، ا.، تومانیان، ن. و هنرجو، ن. ۱۴۰۲. کاربرد مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی تناسب اراضی. آب و خاک. ۳۷(۱): ۶۲-۴۵.
- الیاسی، م.، محمدی، م. و جعفری، ا. ۱۳۹۷. بررسی تجربیات جهانی شرکت‌های استارت‌آپ در حوزه مدیریت آب و خشک‌سالی. از سلسله گزارش‌های بررسی تجربیات جهانی شرکت‌های استارت‌آپ، ستاد فرهنگ‌سازی اقتصاد دانش‌بنیان، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری.
- پورصمصام، ح.، اکبری، ا.، آخوندعلی، ع. م. و برومندنسب، س. ۱۴۰۰. مکانیابی مناطق مستعد اجرای سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت‌فشار با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در دشت دز. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵(۱): ۵۹-۴۷.
- حسنوی آتشیگاه، م.، یاسی، م. و امیری تکلدانی، ا. ۱۳۹۸. الگوی تصمیم‌گیری در شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مبتنی بر روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سلسله مراتبی (AHP). تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵(۴): ۳۱۳-۲۹۹.
- خیرخواه زرکش، م.، ناصری، ح.، داوودی، م. و سلامی، ه. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی، مطالعه موردی دامنه شمالی کوه‌های کرکس-نطنز. پژوهش و سازندگی. ۲۱(۲): ۹۳-۱۰۱.

یا در تقابل با یکدیگر باشند. در این پژوهش، به واکاوای عوامل مؤثر بر موفقیت و شکست پژوهش‌های فناوریانه صنعت آب در ایران پرداخته شد. بدین منظور چهار معیار فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طبق روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice تعریف و مقایسه بین زیرمعیارها یا گزینه انجام شد. در این روش، چهار معیار اصلی و برای هر بعد، چهار زیرمعیار وجود داشت. نتایج تجزیه و تحلیل انجام‌شده نشان داد که از بین تمام گزینه‌های مورد بررسی، زیرمعیار "سهولت تعمیر" از معیار فنی در رتبه اول قرار گرفت. همچنین وزن نهایی زیرمعیارها نشان داد که رتبه دوم مربوط به "عمر مفید" از معیار فنی و رتبه سوم مربوط به "هزینه بهره‌برداری و نگهداری" از معیار اقتصادی بود. به‌طور کلی دو گزینه اول در بعد فنی و گزینه برتر در بعد اقتصادی، به‌عنوان مؤثرترین عوامل در اثربخشی تقویت موفقیت و جلوگیری از شکست فناوری‌های آب نقش دارند و باید در فناوری‌های جدید، این زیرمعیارها تأمین شود. رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها نشان می‌دهد که از هشت گزینه اول که بیشترین امتیاز را کسب کردند، هفت مورد مربوط به معیارهای فنی و اقتصادی بوده و توجه به آن، تضمین‌کننده موفقیت پروژه‌های فناوریانه صنعت آب است. از طرف دیگر، از شش مورد آخر، چهار مورد مربوط به زیرمعیارهای بعد اجتماعی بوده و کمترین وزن نهایی را داشتند. در حالت کلی، زیرمعیارهای بعد زیست‌محیطی و اجتماعی جزء گزینه‌های کم‌اهمیت بودند که تأمل برانگیز است زیرا به این دو مبحث مهم، آن‌طور که باید و شاید، توجه نشده است. در حالت کلی، راهکارهای اثربخشی تقویت موفقیت و جلوگیری از شکست فناوری‌های آب بدین صورت بود که مسائل فنی و اقتصادی از دیدگاه کارشناسان بیش از سایر عوامل مورد توجه قرار گرفت. این رویکرد کارشناسان در راستای دغدغه‌های اصلی مصرف‌کننده از قبیل سهولت تعمیر ابزار، عمر مفید دستگاه یا فناوری و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری اختراعات می‌باشد اما شایان‌ذکر است که عدم توجه به مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی، پایه‌گذار شکست پروژه‌های فناوریانه آب، عامل محدودکننده توسعه و یکی از دلایل اصلی عدم اجرایی شدن اختراعات و نوآوری‌های حوزه صنعت آب خواهد بود.

- کیفیت خاک با استفاده از عملکرد محصول (مطالعه موردی: دشت نیشابور). آب و خاک. ۳۶(۱): ۹۵-۱۱۲.
- موسوی، س. م.، بابازاده، ح.، سرائی تبریزی، م. و خسروجردی، ا. ۱۴۰۲. ارزیابی راهکارهای تأمین نیاز محیط‌زیستی دریاچه ارومیه با استفاده از مدل شبیه‌سازی MODSIM و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. ۳(۳): ۱۳۴-۱۲۰.
- نائینی، م. س.، لیاقت، ع. و نظری، ب. ۱۳۹۸. ارزیابی سامانه‌های آبیاری نخلستان‌های بوشهر و تعیین مناسب‌ترین سامانه با استفاده از روش AHP. مدیریت آب و آبیاری. ۸(۲): ۲۲۵-۲۱۱.
- نیک مهر، س. و زیبایی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی طرح‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان: کاربرد تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش تاپسیس. اقتصاد کشاورزی. ۱۰(۲): ۱۷۳-۱۹۰.
- Karami, E. 2006. Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural systems*. 87(1): 101-119.
- Ladi, T., Mahmoudpour, A. and Sharifi, A. 2021. Assessing impacts of the water poverty index components on the human development index in Iran. *Habitat International*. 113: 102375.
- Mohammadkhani, A., Pourgholam-Amiji, M., Sohrabi, T. and Liaghat, A. 2020. The effect of different levels of water stress in two surface and subsurface drip irrigation systems on yield and water productivity of maize. *Water and Irrigation Management*. 10(2): 247-264.
- Montazar, A. and Behbahani, S. M. 2007. Development of an optimised irrigation system selection model using analytical hierarchy process. *Biosystems engineering*: 98(2): 155-165.
- Neissi, L., Albaji, M. and Nasab, S. B. 2020. Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. *Agricultural Water Management*. 231: 106004.
- Okada, H. I. R. O. A. K. I., Styles, S. W. and Grismer, M. E. 2008. Application of the Analytic Hierarchy Process to irrigation project improvement: Part I. Impacts of irrigation project internal processes on رجا، ا.، میرزایی، ف.، پورغلام آمیجی، م.، هوشمند، م.، صالح، م. و بالوی، ف. ۱۳۹۹. ارزیابی پتانسیل توسعه آبیاری تحت فشار در دشت قزوین با روش تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان. مدیریت آب در کشاورزی. ۷(۲): ۳۰-۱۵.
- فقیهی، ف. و جهان‌تبیغ، ح. ۱۴۰۲. تعیین مکان‌های مناسب برداشت آب باران با استفاده از GIS و FAHP. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۳(۳): ۲۶۷-۲۵۱.
- قدوسی‌پور، ح. ۱۳۹۵. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۲۲۲ ص.
- قدوسی، ح. و ملکشی، ف. ۱۳۹۳. اولویت‌بندی راه کارهای افزایش بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با استفاده مطالعه موردی: شبکه آبیاری قزوین (AHP) (از فرایند تحلیل سلسله مراتبی). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۱(۲): ۱۳۱-۱۵۲.
- کاظمی‌نژاد، ر.، رضایی، ا.، جولایی، ر. و کرامت‌زاده، ع. ۱۴۰۱. ارزیابی اثرات سیاست‌های کاهش مصرف آب بر پایداری زراعی در اقلیم میانی استان گلستان. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۶(۲): ۴۵۹-۴۴۶.
- گودرزی، م. ۱۴۰۱. اولویت‌بندی کاشت محصولات کشاورزی با استفاده از معیارهای چندگانه و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطالعه موردی: استان مرکزی- دشت فراهان. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۶(۳): ۴۹۸-۴۸۵.
- مرادزاده، پ.، اوچاقلو، ح. و قبایی سوق، م. ۱۳۹۹. تعیین تناسب اراضی از نظر کاربرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش AHP در دشت زنجان- سلطانیه. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۲): ۶۷۲-۶۶۱.
- مرادزاده، پ.، اوچاقلو، ح. و قبایی سوق، م. ۱۳۹۸. ارزیابی موقعیت سامانه‌های آبیاری بارانی اجراشده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت زنجان). آب و خاک. ۲۳(۴): ۵۷۸-۵۶۵.
- مقامی مقیم، ف.، کریمی، ع. ر.، باقری بداع‌آبادی، م. و امامی، ح. ۱۴۰۱. ارزیابی نقش سامانه‌های مدیریتی مختلف بر شاخص

- Technologies, and Technological Researches of the Water in Iran. *Water Management in Agriculture*. 9(2): 165-190.
- Pramana, N. and Prajanti, S. D. W. 2019. Protection Strategies on Irrigated Farm Using Analytic Hierarchy Process. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi dan Pembangunan*. 19(2): 207-217.
- Radhika, V., Srinivasan, K., Ramya, R. and Sharmila, B. B. 2022. IoT-Based Water Quality and Quantity Monitoring System for Domestic Usage. In *Immersive Technology in Smart Cities* (pp. 205-227). Springer, Cham.
- Sorkhabi, O. M. 2021. Iran Total Water Storage from May 2018 to 2020.
- Viswanathan, S. P., Chellian, S. K., Varghese, S. and Semeon, J. 2022. Sustainable Water for Smart Villages—A Case Study. In *Smart Villages* (pp. 285-299). Springer, Cham.
- Wind, Y. and Saaty, T. L. 1980. Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*. 26(7): 641-658.
- crop yields. *Agricultural water management*. 95(3): 199-204
- Omeka, M. E., Igwe, O., Onwuka, O. S., Nwodo, O. M., Ugar, S. I., Undiandeye, P. A. and Anyanwu, I. E. 2023. Efficacy of GIS-based AHP and data driven intelligent machine learning algorithms for irrigation water quality prediction in an agricultural-mine district within the Lower Benue Trough, Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*. 1-30.
- Panahi, D. M., Kalantari, Z., Ghajarnia, N., Seifollahi-Aghmiuni, S. and Destouni, G. 2020. Variability and change in the hydro-climate and water resources of Iran over a recent 30-year period. *Scientific reports*. 10(1): 1-9.
- Pourgholam-Amiji, M., Hajirad, I., Nayebi, J., Alavi, S. R., Nozari, F. and Akbarpour, M. 2024. Improving wheat irrigation productivity in Iran (Part one: from the viewpoint of irrigation system and water management). *Water and Soil Management and Modeling*, 4(1): 171-193.
- Pourgholam-Amiji, M., Najafyan, D. and Saadi, T. 2023. Pathology and Recognition of the Factors of Non-Implementation of Plans, Projects,

Analyzing the Factors Affecting the Success and Failure of Technological Researches in the Water Industry in Iran

M. Pourgholam-Amiji^{1*}, T. Saadi² and D. Najafian³

Abstract

Due to the water crisis, drought, population increase, and lack of conventional water resources, the use of new technologies to use unconventional water and manage consumption in different sectors is highly needed. Therefore, it is necessary to scrutinize the existing problems and provide remedial solutions for the introduction of new technologies in the water industry. In the present study, the factors affecting the success and failure of technological research in the water industry in Iran were analyzed with the aim of identifying the reasons for not applying and non-implementation of the country's water technological projects, inventions, and research. To provide effective solutions to strengthen the success and prevent the failure of water technologies, 15 questionnaires based on the Analytical Hierarchy Process (AHP) were completed by experts, experienced, knowledgeable, and proficient in the subject in the autumn and winter of 2022 and the results analyzed in the spring of 2023. According to the purpose of the study, the hierarchical structure included four technical, economic, social, and environmental criteria, each of which had four sub-criteria. After completing the questionnaires, the weights of criteria and sub-criteria were determined using Expert Choice software. To measure the accuracy of completed questionnaires, the inconsistency rate was calculated and equaled 0.09, which was less than the limit (0.1). The examination of the final weight of each of the sub-criteria showed that the first to third rank among all the investigated factors in the four main criteria, respectively, the ease of repair sub-criteria (S1) of the technical criteria with a final weight of 0.243, useful life (S4) from the technical criteria with a weight of 0.158 and the operation and maintenance cost (W4) from the economic criteria with a weight of 0.120. In general, the first two factors in the technical criteria and the superior factor in the economic criteria play a role as the most effective factors in the effectiveness of strengthening the success and preventing the failure of water technologies. These sub-criteria must be provided in new technologies. The general ranking of the sub-criteria shows that out of the first eight factors that got the most points, seven are related to technical and economic criteria, and paying attention to them guarantees the success of technological projects in the water industry. On the other hand, out of the last six items, four items were related to the sub-criteria of the social criteria and had the lowest final weight. The three sub-criteria whose final weight was lower than the others were included O3 (user literacy level with a final weight of 0.002), T3 (compatibility with the climate with a final weight of 0.004), and O2 (government facilities with a final weight of 0.007). In general, the environmental and social sub-criteria were among the less important factors, which is surprising because these two important topics were not considered, as they should be. The final weight of the main criteria, including technical, economic, environmental, and social, was obtained as 0.522, 0.320, 0.108, and 0.049, respectively. It is worth noting that not paying attention to social and environmental issues will be the foundation of the failure of water technological projects, the limiting factor of development, and one of the main reasons for the non-implementation of inventions and innovations in the water industry. The result of this research can be placed on the agenda of trustees and officials as a management and decision-making tool.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Failure Point, Innovation, Success Factors, Technology Devel

¹ Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Groundwater Protection Expert, Regional Water Company of Alborz, Karaj, Iran (*Corresponding Author: Mpourgholam6@ut.ac.ir)

² Ph.D. in Climatology, Department of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University and Secretary of Research and Technology Committee, Regional Water Company of Alborz, Karaj, Iran. Research assistant Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran

³ Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, and Chief Executive Officer (CEO) and head of the Board, Regional Water Company of Alborz, Karaj, Iran

Received: 11 May 2023

Accepted: 17 Jun 2023