dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.344036.3260

Original Paper

Journal of Water and Wastewater, Vol. 33, No. 5, pp: 19-33

Identification and Analytical Hierarchy of Effective Criteria in Optimal Location of Humidification-Dehumidification Desalination Plants

H. Zamansani[1], A. R. Shahraki[2], H. Farzaneh[3]

1. MSc. Student, Dept. of Industrial Engineering, Shahid Nikbakht Engineering College, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Industrial Engineering, Shahid Nikbakht Engineering College, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
(Corresponding Author) shahrakiar@hamoon.usb.ac.ir
3. Assist. Prof., Dept. of Mechanic Engineering, Shahid Nikbakht Engineering College, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

(Received May 24, 2022 Accepted July 30, 2022)

To cite this article:
Zamansani, H., Shahraki, A. R., Farzaneh, H. 2023. "Identification and analytical hierarchy of effective criteria in optimal location of humidification-dehumidification desalination plants"
Journal of Water and Wastewater, 33(5), 19-33. Doi: 10.22093/wwj.2022.344036.3260. (In Persian)

Abstract

In recent years, water stress has become a global crisis due to climate and demographic changes and lifestyle changes. Freshwater production from the sea using various processes is known as the most important solution to deal with this crisis. Among these processes, the humidification-dehumidification process has been considered by the scientific community as a flexible and low-cost method. In addition, the optimal choice of construction sites for factories and even small water desalination units has a significant impact on increasing productivity and optimizing their construction and operation costs. In this study, using Delphi method, effective factors in locating humidification-dehumidification were identified. Then, using the Analytical Hierarchy Process, two decision support systems, one based on criteria and sub-criteria and the other by combining all sub-criteria, are proposed to locate this group of desalination plants. The results show that the factors of inlet air temperature (ambient temperature), incoming water temperature and relative humidity of the air from the technical criteria, with an effective weight of 0.186, 0.126 and 0.09, respectively, are the most important factors in locating this group of desalination plants. In the following, the factors of access to technical and engineering services and the amount of water reserves of the executive criteria, with a weight of 0.076 and 0.064, have been assigned the fourth and sixth ranks. Fresh water sales tariff, construction fee and cost of wastewater and waste disposal from economic criteria with the effectiveness of 0.069, 0.061 and 0.06, respectively, are in the fifth, seventh and eighth positions. Also, the annual average factor of solar energy from environmental criteria is in the ninth place with 0.054 points. These factors are the most effective factors in locating humidifiers-dehumidifiers.

Keywords: Decision Support System, Analytical Hierarchy Process, DELPHI, Desalination, Humidification Dehumidification.

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.344036.3260

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۵، صفحه: ۳۳-۱۹

شناسایی و تحلیل سلسله مراتبی معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی بهینه آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا

هادی زمان‌ثانی[۱]، علیرضا شهرکی[۲]، حامد فرزانه[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
(نویسنده مسئول) shahrakiar@hamoon.usb.ac.ir
۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت ۱۴۰۱/۳/۳ پذیرش ۱۴۰۱/۵/۸)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
زمان‌ثانی، هـ.، شهرکی، ع. ر.، فرزانه، ح.، ۱۴۰۱، "شناسایی و تحلیل سلسله مراتبی معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی بهینه آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا" مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۵)، ۳۳-۱۹. Doi: 10.22093/wwj.2022.344036.3260

چکیده

در سالیان اخیر به‌دلیل تغییرات اقلیمی و جمعیتی و تغییر در سبک زندگی، تنش آبی به بحرانی جهانی تبدیل شده است. تولید آب شیرین از دریا با استفاده از فرایندهای گوناگون به‌عنوان مهم‌ترین راهکار مقابله با این بحران شناخته می‌شود. در میان این فرایندها، فرایند رطوبت‌زنی- رطوبت‌زدایی به‌عنوان روشی منعطف و کم‌هزینه مورد توجه جامعه علمی قرار گرفته است. علاوه بر این، انتخاب بهینه مکان احداث کارخانه‌ها و حتی واحدهای کوچک شیرین‌سازی آب، تأثیر به‌سزایی در افزایش میزان بهره‌وری و بهینه‌سازی هزینه‌های احداث و بهره‌برداری آنها دارد. در این پژوهش، با استفاده از روش دلفی عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا شناسایی شدند. سپس با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، دو سیستم پشتیبان تصمیم، یکی بر اساس معیارها و زیرمعیارها و دیگری با تلفیق تمامی زیرمعیارها، برای مکان‌گزینی این دسته از آب شیرین‌کن‌ها ارائه شد. نتایج نشان داد که عوامل دمای هوای ورودی (دمای محیطی)، دمای آب ورودی و رطوبت نسبی هوا از معیارهای فنی، به‌ترتیب با وزن اثر ۰/۱۸۶، ۰/۱۲۶ و ۰/۰۹ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مکان‌گزینی این دسته از آب شیرین‌کن‌ها شناخته می‌شوند. در ادامه عوامل دسترسی به خدمات فنی و مهندسی و میزان ذخایر آب از معیارهای اجرایی با اختصاص وزن ۰/۰۷۶ و ۰/۰۶۴، رتبه چهارم و ششم را به خود اختصاص دادند. تعرفه فروش آب شیرین، هزینه احداث و هزینه دفع پساب و پسماند از معیارهای اقتصادی با کسب میزان اثرگذاری ۰/۰۶۹، ۰/۰۶۱ و ۰/۰۶، به‌ترتیب در جایگاه‌های پنجم، هفتم و هشتم قرار دارند. همچنین عامل میانگین سالانه انرژی خورشیدی از معیارهای محیط‌زیستی با کسب ۰/۰۵۴ امتیاز در رده نهم قرار دارد. این عوامل، مؤثرترین عوامل در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا هستند.

واژه‌های کلیدی: سیستم پشتیبان تصمیم، تحلیل سلسله مراتبی، دلفی، آب شیرین‌کن، رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.344036.3260

۱- مقدمه

حدود ۷۰ درصد سیاره زمین از آب پوشیده شده است، اما تنها ۳ درصد آن برای مصارف خانگی و کشاورزی قابل استفاده است. از سوی دیگر، آلودگی‌های ناشی از برخی فعالیت‌های انسانی مانند ورود پساب‌های صنعتی و فاضلاب شهری به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، به کمبود منابع آب شرب، دامن می‌زند. به‌همین دلیل یافتن راه‌های مختلف برای تولید آب آشامیدنی و قابل‌استفاده برای تمامی جهان ضروری است (Dweiri et al., 2018).

برای مقابله با کمبود میزان آب آشامیدنی و تأمین آب مصرفی، نمک‌زدایی یا همان شیرین‌سازی آبهای شور، یکی از راه‌حل‌های مورد توجه تمام کشورهای جهان است. فرایند نمک‌زدایی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تسویه آب است که هنوز در سراسر جهان رایج است. این فرایند عبارت از حذف نمک اضافی و آلودگی‌های محلول در آب شور یا آب دریا برای به‌دست آوردن آب شیرین است (Alsaif et al., 2021).

کارخانه‌های نمک‌زدایی می‌توانند، منابع جدیدی را با بهره‌برداری از آب دریاها یا آبهای شورمزه در اختیار ما قرار دهند. تعداد ۱۸۴۲۶ کارخانه شیرین‌سازی آب در ۱۵۰ کشور مختلف مشغول به فعالیت هستند. این کارخانه‌ها، نیاز بیش از ۳۰۰ میلیون نفر به آب آشامیدنی را با تولید روزانه ۸۷ میلیون مترمکعب آب، برطرف می‌کنند (World Bank, 2019). با وجود مزایای فراوان کارخانه‌های شیرین‌سازی آب، پساب‌های آنها می‌تواند محیط‌زیست را در معرض خطر قرار دهد، بنابراین در برنامه‌ریزی احداث کارخانه‌های شیرین‌سازی آب، مکان‌یابی آنها اهمیت ویژه‌ای دارد (Sanver and May, 2010). در این بین، عوامل متعددی از جمله عوامل اقتصادی، فنی و کارکردی نیز در موفقیت پروژه‌های احداث کارخانه‌های شیرین‌سازی آب، تأثیر به‌سزایی دارد (Dweiri et al., 2018). دسترسی به شبکه برق، میزان و کیفیت آب ورودی، زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه، مقررات محیط‌زیستی، تناسب با الگوهای شهرسازی و روستایی، محدودیت‌های قانونی و پذیرش اجتماعی جوامع هم‌جوار از جمله این عوامل هستند (Tsiourtis, 2008).

در این پژوهش، تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب محل احداث کارخانه نمک‌زدایی رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا، به‌عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] بررسی شد.

۲- ادبیات و پیشینه پژوهش

کمبود منابع آب شیرین در نتیجه تداوم خشک‌سالی ناشی از تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و نابرابر تقاضا در مقابل عرضه آب و تغییر الگوی مصرف، یکی از بحران‌های جدی در جهان است (Lee et al., 2017). تولید آب شیرین از دریا یکی از بزرگترین موضوعاتی است که تلاش‌های پژوهشی قابل‌توجهی را در جامعه علمی به خود اختصاص داده است (Lopez et al., 2017).

به‌منظور تولید آب شیرین از آب دریا، آبهای شور سطحی یا گل‌آلود، باید از یک فرایند جداسازی مناسب استفاده کرد. این کار را می‌توان با کمک فرایندهای متفاوتی انجام داد. از آنجا که آب و ناخالصی‌ها به صورت خودبه‌خود از هم جدا نیستند، تمامی این فرایندها، نیازمند منابع انرژی هستند (Farsad et al., 2018). از گذشته، آب شیرین‌کن‌های استفاده شده بر اساس اصل تبخیر و میعان آب، طراحی می‌شدند. هنوز هم برخی فرایندهای نمک‌زدایی بر همین اصل استوار هستند (Razdari and Fanaee, 2021). این فرایندها عبارت‌اند از:

- فرایند تقطیر چند مرحله‌ای[2]
- فرایند تقطیر چند اثره[3]
- فرایند بخار فشرده[4]
- فرایند انجمادی[5]
- فرایند رطوبت‌زنی-رطوبت‌زدایی[6]
- فرایند تقطیر خورشیدی

در میان فرایندهای بیان شده، فرایند رطوبت‌زنی-رطوبت‌زدایی دارای قابلیت‌های بسیاری از جمله طراحی آسان، هزینه بهره‌برداری کم و طول عمر زیاد است (Hou, 2008). میزان مصرف انرژی در این روش، نسبت به سایر روش‌های معمول شیرین‌سازی آب، کمتر است، به‌طوری که می‌توان برای تأمین انرژی موردنیاز آن از انرژی خورشید نیز استفاده کرد (Al-Hallaj and Selman, 2002).

[1] Multiple Criteria Decision Making (MCDM)
[2] Multi-Stage Flash Desalination (MSF)
[3] Multiple-Effect Distillation (MED)
[4] Vapor Compression (VC)
[5] Freezing
[6] Humidification-Dehumidification (HDH)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.344036.3260

فرایند رطوبت‌زنی-رطوبت‌زدایی یک روش مناسب برای شیرین‌سازی آب با شوری زیاد و به منظور استفاده در مقیاس‌های کوچک و متوسط شناخته می‌شود (Rahimi-Ahar et al., 2020). از این سیستم می‌توان برای تأمین آب شرب واحدهای مسکونی در مناطق دورافتاده و کم‌جمعیت و با حداقل انرژی مصرفی استفاده کرد (Fath and Ghazy, 2002).

انتخاب مکان احداث یک کارخانه آب‌شیرین‌کن یک تصمیم استراتژیک است که نیازمند صرف هزینه‌های سنگین احداث و بهره‌برداری است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، هزینه موردنیاز برای احداث یک کارخانه آب شیرین‌کن، بسته به محل آن و ظرفیت موردانتظار، حدود ۳۰۰ میلیون تا ۲/۹ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود (Dweiri et al., 2018). علاوه بر آن، پس از احداث کارخانه و برای بهره‌برداری از آن، زیرساخت‌های فراوان و انرژی قابل‌توجهی موردنیاز است. بنابراین تصمیم‌گیری در خصوص مکان احداث کارخانه‌های نمک‌زدایی، نیازمند بررسی معیارهای مختلفی است که در برخی مواقع ماهیت متضاد دارند. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در حوزه مکان‌یابی کارخانه‌های شیرین‌سازی آب انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

در پژوهشی، به ارائه سیستم جامع پشتیبانی تصمیم برای رتبه‌بندی معیارهای مکان‌یابی کارخانه شیرین‌سازی پایدار با ترکیب پایداری و جنبه‌های فنی و عملیاتی در امارات متحده عربی پرداخته شدند که در آن ۴۰ معیار در پنج حوزه محیط‌زیستی، اجتماعی، عملیاتی، فنی و اقتصادی در روش‌های شیرین‌سازی اسمز معکوس[1]، تقطیر چند مرحله‌ای و تقطیر چند اثره با کمک روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی[2] بررسی و ارزیابی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که معیارهای فنی و اقتصادی، اصلی‌ترین معیارهای مکان‌یابی کارخانه‌های شیرین‌سازی آب هستند (Dweiri et al., 2018).

در پژوهشی، به تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب مکان بهینه کارخانه آب‌شیرین‌کن در نواحی شهری مختلف هند پرداخته شد. در این پژوهش، یک چارچوب سیستماتیک برای مکان‌یابی کارخانه شیرین‌سازی اسمز معکوس بر اساس معیارهای امکان‌سنجی فنی، دوام اقتصادی، پایداری محیطی و پذیرش اجتماعی و سیاسی پیشنهاد شد. پژوهشگران ادعا دارند که سیستم یکپارچه انرژی تجدیدپذیر پیشنهادی[3]، راه‌حلی مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست برای مناطق روستایی ارائه می‌دهد (Vishnupriyan et al., 2021).

محمدی و سبحانی در پژوهشی، به مکان‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از سیستم چگالشی و به کارگیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی[4] و سنجش از دور پرداختند. آنها در ابتدا اهمیت معیارهای رطوبت هوا، دمای هوا، نوع خاک، دمای عمق ۵۰ سانتی‌متری زمین و سرعت باد را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص کرده و تناسب نهایی استان هرمزگان برای استحصال آب با استفاده از سیستم چگالشی را با پنج طبقه بسیار مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و بسیار نامناسب مشخص کردند (Mohammadi and Sobhani, 2021).

قاسمی و همکاران در پژوهشی، انتخاب مناسب مکان و شکل ساختار حفاظتی سیستم آبگیر آب‌شیرین‌کن ساحلی جزیره قشم با استفاده از مدل‌سازی عددی را مدنظر قرار دادند. در این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی عددی و بر اساس معیارهای هیدرودینامیکی و کیفی به مکان‌یابی یک سازه حفاظتی برای توسعه آب‌شیرین‌کن موجود در جزیره قشم پرداخته شد که نشان می‌دهد استفاده از یک ساختار محافظ در سیستم آبگیر، می‌تواند راه‌حلی برای کنترل گردش مجدد پساب از منطقه آبگیر باشد. علاوه بر این، نه تنها با بهبود شرایط دما و شوری آب ورودی، بلکه با کاهش مصرف انرژی، می‌توان بازده سیستم را افزایش داد و هزینه‌های تولید آب شیرین را کاهش داد (Ghasemi et al., 2021).

سپهر و همکاران در پژوهشی، به بررسی کاربرد روش دلفی[5] در غربالگری معیارها و زیرمعیارهای مکان‌یابی واحدهای آب‌شیرین‌کن پرداختند. در این پژوهش، ۳۳ معیار در ۹ دسته‌بندی، با کمک روش غربالگری دلفی و با استفاده از نظرات کارشناسان بررسی شد. نتایج نشان داد ۱۸ معیار مناطق حساس محیط‌زیستی خشکی، مناطق حساس محیط‌زیستی دریایی، زیست‌مندان، موقعیت تالاب‌ها، توپوگرافی (شیب)، مناطق سیلابی، کیفیت آب دریا، عمق‌سنجی، محدوده دریا، محل مصرف، موقعیت ناحیه

[1] Reverse Osmosis (RO)
[2] Analytical Hierarchy Process (AHP)
[3] Integrated Renewable Energy System (IRES)
[4] Fuzzy Analytical Hierarchy Process (Fuzzy AHP)
[5] Delphi Method

شهری، موقعیت شبکه جاده‌ای، موقعیت شبکه برق، دسترسی به ساحل، تأسیسات زیربنایی، مناطق آبزی‌پروری، میراث فرهنگی و مکان تخلیه پساب، معیارهای مهم برای مکان‌یابی واحدهای آب‌شیرین‌کن هستند (Sepehr et al., 2017).

محمد در پژوهشی، به مکان‌یابی و شناسایی مناطق مناسب برای احداث ایستگاه‌های نمک‌زدایی خورشیدی در مصر پرداخت. در این پژوهش با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی[1] و تحلیل چند معیاره[2] مکان‌های مناسب برای نصب سلول‌های نمک‌زدایی خورشیدی شناسایی شد (Mohamed, 2020).

بادی و همکاران، انتخاب محل کارخانه نمک‌زدایی در لیبی را بررسی کردند. آنها بر اساس کمینه کردن هزینه انتقال آب و بهینه‌سازی تأثیر عوامل خارجی بر مکان آب‌شیرین‌کن و با استفاده از روش ارزیابی مبتنی بر فاصله ترکیبی[3]، به مکان‌یابی آب‌شیرین‌کن‌ها پرداختند (Badi et al., 2018).

در پژوهش‌های پیشین، مکان‌گزینی احداث کارخانه‌های شیرین‌سازی منحصر به روش‌های متداول شیرین‌سازی آب از جمله اسمز معکوس، فرایند تقطیر چند مرحله‌ای، فرایند تقطیر چند اثره و خورشیدی انجام شد. در این پژوهش، ابتدا معیارهای مؤثر در انتخاب مکان آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا، با کمک روش دلفی شناسایی شد و سپس با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، این معیارها رتبه‌بندی شدند.

۳- روش پژوهش

یکی از روش‌های جمع‌آوری اطلاعات درخصوص میزان تأثیر عوامل بر شاخص‌ها، استفاده از ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها نسبت به یکدیگر و نیز مقایسات زوجی عوامل نسبت به هم و برحسب شاخص‌ها است (Asgharizade and Mohammadi Balai, 2017). تکنیک AHP یکی از این روش‌ها است. این روش مقایسه زوجی، توسط ساعتی در سال ۱۹۷۷ میلادی در زمینه فرایند تحلیل سلسله مراتبی ارائه شد. این فرایند شامل سه بخش اصلی به شرح زیر است (Saaty, 1977):

۱- تجزیه: این بخش ساختار پیچیده مسئله را تجزیه و به مسائل ساده و کوچکتر منطقی تقسیم می‌کند.

۲- مقایسات زوجی: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای تمامی عوامل و شاخص‌ها به منظور استخراج وزن و اولویت آنها.

۳- ترکیب سلسله مراتب: استفاده از مقایسات محلی سلسله مراتب‌ها برای به‌دست آوردن مقدار واقعی وزن‌ها.

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، وزن عناصر هر سطر با استفاده از مقایسه زوجی با عنصر مربوط به خود در سطح بالاتر محاسبه می‌شود، به این وزن‌ها، وزن نسبی گفته می‌شود. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن مطلق هر گزینه مشخص می‌شود (Ghodsipour, 2013). شکل ۱ مراحل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد.

شاخص‌های موجود در یک سیستم را می‌توان از طریق روش‌هایی مانند مرور ادبیات موضوع و به کارگیری روش‌های متفاوتی مانند روش دلفی، توزیع پرسش‌نامه و مصاحبه گردآوری کرد. استفاده از روش‌های بیان شده، زمان‌بر بوده، اما موجب تعامل بیشتری میان کارشناسان و خبرگان می‌شود (Nabavi Fard and Hamzehpour, 2019).

در این پژوهش، به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا از روش دلفی استفاده شد. این روش با مشارکت افرادی انجام شد که دانش و تخصص در موضوع پژوهش داشتند. این افراد با عنوان پانل دلفی شناخته شدند. از آنجا که نتایج کار بستگی به تخصص و دانش این افراد داشت، پانل دلفی این پژوهش از میان اساتید، پژوهشگران و کارشناسان صاحب‌نظر در حوزه آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا تشکیل شد. در این راستا، برای تعیین میزان اتفاق‌نظر میان اعضای پانل، از ضریب هماهنگی کندال[4] استفاده شد.

۳-۱- شناسایی عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا

در مرحله نخست با استفاده از پژوهش‌های پیشین و نظرات خبرگان، عوامل مؤثر در مکان‌یابی آب‌شیرین‌کن‌ها استخراج شد. سپس به‌منظور تعیین عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا از روش دلفی استفاده شد. این روش، اولین

[1] Geographic Information Systems (GIS)
[2] Multi-Criteria Analysis (MCA)
[3] Combinative Distance-Based Assessment Method (CODAS)
[4] Kendall's Coefficient of Concordance

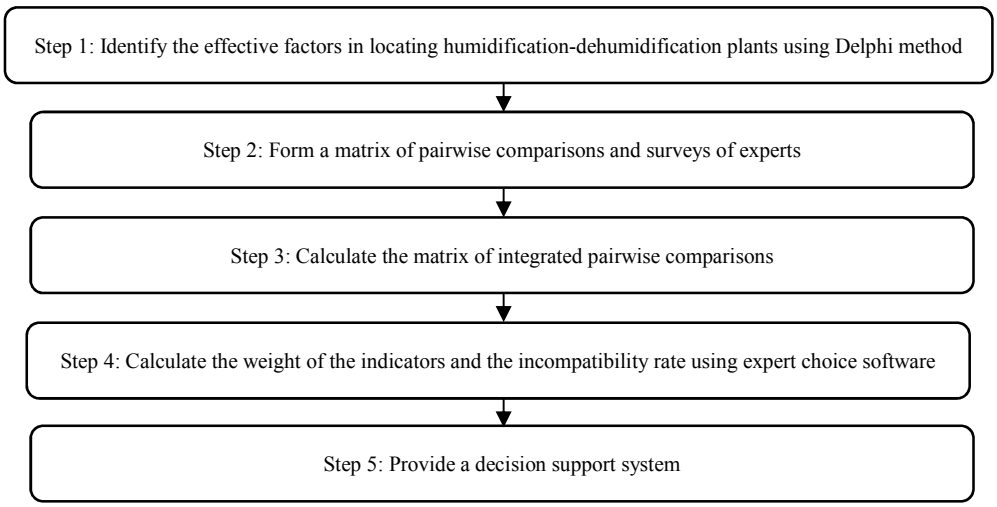

Fig. 1. Steps of conducting research

شکل ۱- مراحل اجرای پژوهش

بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی، توسط شرکت تحقیق و توسعه[1] برای بررسی علمی نظرات کارشناسان در مورد پروژه‌های دفاعی نظامی استفاده شده است (Habibi et al., 2014). این روش از اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی به‌عنوان یک روش مهم علمی شناخته می‌شود (Rahmani et al., 2020). روش دلفی، یک روش ساختار یافته و منظم برای اجماع نظر میان پاسخ متخصصین به سوالاتی است که با روش‌های آزمایشگاهی قابل جواب‌گویی نیستند (Jorm, 2015). بر اساس موضوع، تخصص‌های موردنیاز تعیین و اعضای پانل دلفی با استفاده از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی انتخاب شدند. پس از تعیین اعضای پانل دلفی، یک دور روش دلفی انجام شد. پرسش‌نامه‌ها به‌صورت حضوری تکمیل و گردآوری شد. شکل ۲ فرایند اجرای روش دلفی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

برای تعیین میزان اتفاق‌نظر میان اعضای پانل، از ضریب هماهنگی کندال استفاده شده است. این ضریب، مقیاسی برای تعیین درجه هماهنگی و اتفاق‌نظر میان نظرات K فرد درخصوص رتبه‌بندی N عامل است. ضریب هماهنگی کندال نشان می‌دهد، افرادی که چندین عامل را بر اساس اهمیت آنها مرتب کرده‌اند، به‌طور اساسی معیارهای مشابهی را برای قضاوت درباره اهمیت هر یک از عوامل به کار برده‌اند و از این نظر با یکدیگر اتفاق‌نظر دارند (Mashaiekhi et al., 2005). ضریب هماهنگی کندال با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌شود

$$W=\frac{12s}{K^2(N^3-N)} \qquad (۱)$$

که در آن

$s=\sum_j(R_j-\frac{\sum R_j}{N})^2$ حاصل جمع مربعات انحراف‌های R_jها از میانگین آنها، R_j مجموع امتیازات داده شده توسط خبرگان به عامل jام، K تعداد اعضای پانل، N تعداد عوامل رتبه‌بندی شده و $j=1,2,\ldots,N$ است. مقدار ضریب هماهنگی کندال همواره عددی بین صفر و ۱ خواهد بود. به‌عبارت دیگر مقدار این مقیاس در هنگام موافقت کامل اعضای پانل برابر ۱ و در صورت عدم هماهنگی کامل برابر صفر خواهد بود.

اشمیت در خصوص تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه دورهای روش دلفی، دو معیار آماری را ارائه می‌کند. اولین معیار وجود اتفاق‌نظر قوی میان اعضای پانل است که بر اساس ضریب هماهنگی کندال تعیین می‌شود. دومین معیار عدم وجود اتفاق‌نظر قوی و ثابت ماندن این ضریب یا تغییر ناچیز آن در دو دور متوالی است که در این صورت، فرایند نظرخواهی باید متوقف شود؛ زیرا نشان می‌دهد که افزایشی در توافق نظر اعضا انجام شده است (Schmidt, 1977).

[1] Research and Development Corporation (RDC)

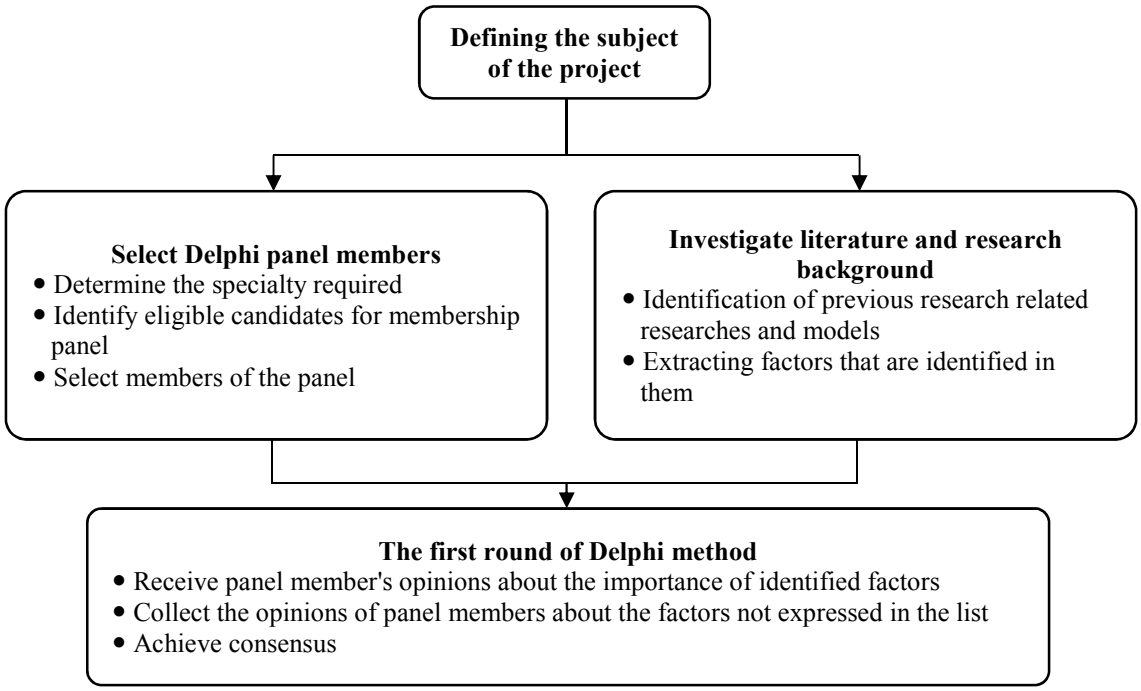

Fig. 2. Delphi method execution process

شکل ۲- فرایند اجرای روش دلفی

۳-۲- تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

پس از شناسایی عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا به کمک فرایند دلفی، نوبت به تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای تمامی عوامل برای استخراج وزن و اولویت آنها می‌رسد. در این مرحله ابتدا پرسش‌نامه‌های مرتبط با مقایسات زوجی عوامل مطابق شکل ۳ تشکیل شد و از کارشناسان و خبرگان درخواست شد تا روابط میان آنها را به صورت مقایسات زوجی و با در نظر گرفتن میزان ارجحیت هر یک بر دیگری و با استفاده از طیف‌های مشخص شده، تعیین کنند. جدول ۱، طیف‌های استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طیف‌های اندازه‌گیری

Table 1. Measurement spectra

Value	Preference intensity
1	Option A_i and option A_j have the same priority
2	Very low preference of option A_i over option A_j
3	Low preference of option A_i over option A_j
4	Relatively low preference of option A_i over option A_j
5	Average preference of option A_i over option A_j
6	Relatively high preference of option A_i over option A_j
7	High preference of option A_i over option A_j
8	Very high preference of option A_i over option A_j
9	Extremely high preference of option A_i over option A_j

درایه‌های روی قطر اصلی این ماتریس برابر با ۱ هستند، یعنی $a_{11} = a_{22} = \cdots = a_{nn} = 1$، اما درایه‌های دیگر می‌توانند مقدار مختلفی را به خود اختصاص دهند. اگر ترجیح شاخص A_i بر شاخص A_j برابر $a_{ij} = x$ باشد، ترجیح شاخص A_j بر شاخص A_i برابر $a_{ji} = 1/x$ خواهد بود. با توجه به این نکته، کارشناسان و خبرگان تنها مقدار بالای قطر اصلی را تکمیل کرده و مقدار پایین قطر اصلی با استفاده از معادله ۲ محاسبه شده است

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (۲)$$

	A_1	A_2	…	A_n
A_1	1	a_{12}		a_{1n}
A_2	a_{21}	1		a_{2n}
…			1	
A_n	a_{n1}	a_{n2}		1

Fig. 3. Matrix of pairwise comparisons of indicators and measures

شکل ۳- ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها و سنجه‌ها

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.344036.3260

که در آن

a_{ij} شدت ترجیح شاخص A_i بر شاخص A_j و a_{ji} شدت ترجیح شاخص A_j بر شاخص A_i هستند.

۳-۳- محاسبه ماتریس مقایسات زوجی تلفیقی

درصورت وجود تعداد k ماتریس مقایسات زوجی که k خبره آنها را ارائه کرده‌اند، به نحوی که قضاوت‌های فردی خبرگان سازگار باشد، می‌توان ماتریس مقایسات زوجی تلفیقی حاصل از ترکیب نظرات خبرگان را با اخذ میانگین هندسی از درایه‌های متناظر محاسبه کرد. سازگاری یا ثبات قضاوت‌های فردی خبرگان به این معنا است که اگر به‌طور مثال، شدت ارجحیت A_1 بر A_2 برابر با ۲ باشد و شدت ارجحیت A_2 بر A_3 برابر ۳ باشد، آنگاه شدت ارجحیت A_1 بر A_3 باید حدود ۶ باشد. چنانچه این شدت دقیقاً برابر با ۶ باشد، سازگاری کامل خواهد بود (Asgharizade and Mohammadi Balai, 2017).

در این پژوهش، تلفیق نظر خبرگان با اخذ میانگین هندسی از درایه‌های متناظر، با کمک معادله ۳ انجام شد

$$a'_{ij} = \sqrt[k]{\prod_{p=1}^{k} a_{ij,p}} \qquad (۳)$$

که در آن

a'_{ij} شدت ترجیح شاخص A_i بر شاخص A_j در ماتریس مقایسات زوجی تلفیقی، k تعداد خبرگان، $a_{ij,p}$ نظر خبره p ام درخصوص شدت ارجحیت شاخص A_i بر شاخص A_j هستند.

۳-۴- محاسبه وزن شاخص‌ها و نرخ ناسازگاری

به‌منظور محاسبه وزن شاخص‌ها از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. این نرم‌افزار به‌طور ویژه در راستای فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی و ساخته شده، زیرا مخترع این روش به‌صورت مستقیم در توسعه برنامه همکاری کرده است (Kuhn, 2002). نکته مهمی که در اجرای این فرایند مطرح است، سازگاری مقایسات زوجی است (Asgharizade and Mohammadi Balai, 2017). سازگاری مقایسات زوجی به این معنا است که اگر A_1 بر A_2 و A_2 بر A_3 ترجیح داده شود، آنگاه باید A_1 بر A_3 نیز ترجیح داده شود. اگر در ماتریس مقایسات زوجی، ترجیحات چنین خاصیتی را نداشته باشند، ماتریس را ناسازگار گویند. نرخ ناسازگاری برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی توسط نرم‌افزار Expert Choice محاسبه می‌شود. بنابر نظر بنیان‌گذار روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، چنانچه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ باشد، آنها را سازگار گویند (Asgharizade and Mohammadi Balai, 2017). Najafi et al., 2019) درصورت وجود ناسازگاری بیش از حد، ماتریس مقایسات زوجی توسط خبرگان اصلاح می‌شوند.

۳-۵- ارائه سیستم پشتیبان تصمیم

در اوایل سال ۱۹۷۰، اسکات مورتون برای نخستین بار مفهوم سیستم پشتیبان تصمیم[1] را بیان کرد (Scott Morton, 1970). او سیستم پشتیبان تصمیم را به "عنوان سیستم‌های تعاملی مبتنی بر رایانه، که با استفاده از داده‌ها و مدل‌ها برای حل مشکلات و مسائل غیرساخت‌یافته (غیرعادی) به تصمیم‌گیران کمک می‌کند" تعریف کرد (Turban et al., 2005). بر اساس تعریفی دیگر، سیستم پشتیبان تصمیم یک سیستم شامل چهار جزء مدیریت داده، مدیریت مدل، دانش و رابط کاربری است که با استفاده از منابع انسانی و قابلیت‌های رایانه، مدیران را در حل مسائل پیچیده کمک می‌کند (Kabaranzad-Ghadim and Rofoogar-Astaneh, 2009).

پس از رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارها توسط نرم‌افزار Expert Choice، مطلوبیت مناسب هر یک از زیرمعیارها مشخص می‌شود به عبارت دیگر زیرمعیارها به دو دسته شاخص‌های مثبت و منفی تقسیم‌بندی می‌شوند. بر این اساس سیستم پشتیبان تصمیم برای مکان‌گزینی آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا ایجاد شده است.

۴- یافته‌های پژوهش

در دور اول روش دلفی، فهرستی از عوامل مؤثر در مکان‌یابی آب شیرین‌کن‌ها که از پژوهش‌های پیشین جمع‌آوری شده بودند، به‌منظور تعیین عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های فرایند رطوبت‌زنی- رطوبت‌زدایی در اختیار اعضای پانل قرار داده شد. همچنین از آنها درخواست شد، سایر عوامل مؤثر که در

[1] Decision Support System (DSS)

پرسش‌نامه مطرح نشده را بیان کنند. به‌منظور شناسایی هرچه دقیق‌تر عوامل مؤثر، تعداد ۹ نفر از میان اساتید دانشگاهی، خبرگان و سازندگان فعال در این حوزه به‌عنوان اعضای پانل انتخاب شدند. در این دور، ۱۹ عامل از میان ۶۱ عامل توسط اعضای پانل، دارای تأثیر "زیاد" و "خیلی زیاد" تشخیص داده شدند. همچنین هیچ عامل جدیدی از سوی اعضا بیان نشد. ضریب هماهنگی کندال برای این دور مقدار ۰/۹۲۴ به‌دست آمد، ازاین‌رو مراحل روش دلفی به پایان رسید. عوامل شناسایی شده در این مرحله در جدول ۲ و در قالب پنج معیار فنی، اجرایی، اقتصادی، محیط‌زیستی و فرهنگی اجتماعی نشان داده شده است.

با استفاده از عوامل بیان شده در جدول ۲، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل و تعداد ۱۱ پرسش‌نامه به‌وسیله اساتید، نخبگان و فعالان حوزه آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا در خصوص میزان ارجحیت عوامل بر یکدیگر جمع‌آوری شد. پس از آن با استفاده از معادله ۲، ماتریس‌های مقایسات زوجی تکمیل شد. سپس با استفاده از معادله ۳، ماتریس مقایسات زوجی تلفیقی محاسبه شد. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice، وزن معیارها و زیرمعیارها و نرخ ناسازگاری نظرات محاسبه شد. شکل ۴، وزن معیارها و شکل‌های ۵ تا ۹، به‌ترتیب وزن زیرمعیارهای فنی، اجرایی، اقتصادی، محیط‌زیستی و فرهنگی اجتماعی را نشان می‌دهند.

با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice، نرخ ناسازگاری برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی محاسبه شد. این نرخ برای ماتریس مقایسات زوجی معیارها برابر ۰/۰۵ و برای ماتریس‌های مقایسات زوجی زیرمعیارهای فنی، اجرایی، اقتصادی، محیط‌زیستی و فرهنگی اجتماعی به‌ترتیب برابر مقدار ۰/۰۶، ۰/۰۴، ۰/۰۳، صفر و ۰/۰۷ بود. همان‌گونه که در بخش روش پژوهش نیز بیان شد، چنانچه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات

جدول ۲- عوامل موثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا

Table 2. Effective factors in locating humidification-dehumidification plants

Row	Criteria	Sub-criteria
1	Technical	Relative humidity of the air
2		Inlet air temperature (ambient temperature)
3		Elevation above sea level (ambient air pressure)
4		Incoming water quality
5		Incoming water temperature
6	Executive	Distance to the electricity grid
7		Distance to the road network
8		The amount of water reserves
9		Access to technical and engineering services
10	Economical	Construction fee
11		Water transfer cost
12		Electricity cost
13		Fresh water sales tariff
14		cost of wastewater and waste disposal
15	Environmental	Distance to ecologically sensitive areas
16		Annual average of solar energy
17	Sociocultural	Social involvement
18		Prevention of immigration
19		The extent of public health promotion

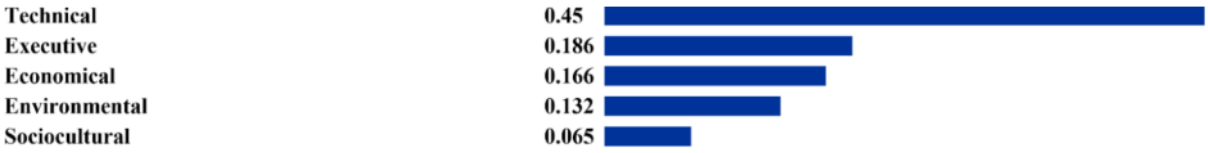

Fig. 4. Results of weighting the criteria

شکل ۴- نتایج وزن‌دهی معیارها

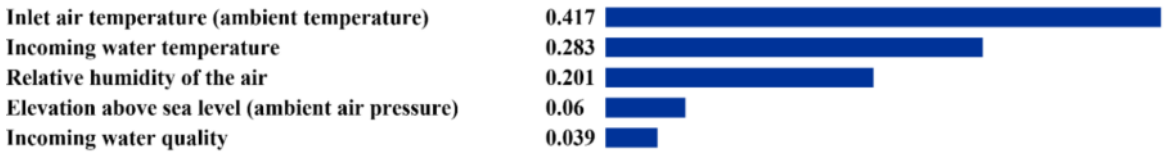

Fig. 5. Results of technical sub-criteria weighting

شکل ۵- نتایج وزن‌دهی زیرمعیارهای فنی

Fig. 6. Weighting results of executive sub-criteria

شکل ۶- نتایج وزن‌دهی زیرمعیارهای اجرایی

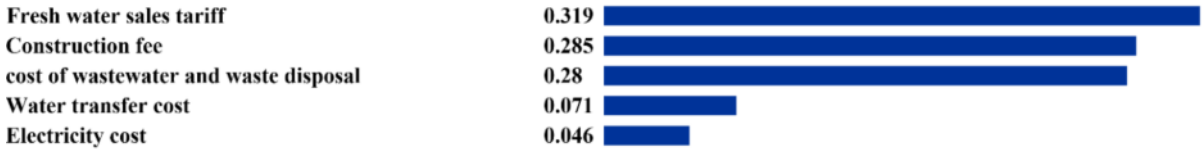

Fig. 7. Results of economic sub-criteria weighting

شکل ۷- نتایج وزن‌دهی زیرمعیارهای اقتصادی

Fig. 8. Weighting results of environmental sub-criteria

شکل ۸- نتایج وزن‌دهی زیرمعیارهای محیط‌زیستی

Fig. 9. Weighting results of socio-cultural criteria

شکل ۹- نتایج وزن‌دهی زیرمعیارهای فرهنگی اجتماعی

زوجی کمتر از ۰/۱ باشد، آنها را سازگار گویند. بنابراین تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی مربوط به معیارها و زیرمعیارها در این پژوهش سازگار بودند.

همچنین با توجه به وزن‌دهی ترکیبی انجام شده توسط نرم‌افزار Expert Choice در سطح تمامی زیرمعیارها، می‌توان عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا را بر

اساس میزان اهمیت مرتب کرد. شکل ۱۰ میزان اهمیت عوامل مؤثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل ۱۰، دو عامل دمای هوای ورودی (دمای محیطی) و دمای آب ورودی به عنوان مؤثرترین عوامل در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا شناسایی شدند. پس از این دو عامل، به‌ترتیب عوامل رطوبت نسبی هوا، دسترسی به خدمات فنی و مهندسی، تعرفه فروش آب شیرین، میزان ذخایر آب، هزینه احداث، هزینه دفع پساب و پسماند و میانگین سالانه انرژی خورشیدی، بیشترین تأثیر در مکان‌گزینی این دسته از آب شیرین‌کن‌ها را دارند. بر اساس نتایج ارائه شده توسط نرم‌افزار Expert Choice، می‌توان دو سیستم پشتیبان تصمیم به صورت زیر ارائه کرد:

- بر مبنای معیارها و زیرمعیارها و بر اساس وزن‌دهی حاصل از نتایج.
- بر مبنای زیرمعیارها و بر اساس وزن‌دهی ترکیبی حاصل از نتایج

واضح است که خروجی هر دو سیستم ارائه شده یکسان خواهد بود. زیرا سیستم دوم از تلفیق و ترکیب اوزان سیستم اول ساخته می‌شود. کاربران می‌توانند بر اساس نوع محاسبات پیش روی خود و با در نظر گرفتن سهولت بهره‌برداری، هر یک از سیستم‌های ارائه شده را به کار گیرند.

جداول ۳ و ۴ به‌ترتیب سیستم پشتیبان تصمیم بر مبنای معیارها و زیرمعیارها و سیستم پشتیبان تصمیم بر مبنای زیرمعیارها را نشان می‌دهند. در هریک از جداول وزن معیارها و زیرمعیارها به همراه نوع و کیفیت آنها بیان شده است. در این جداول، مقیاس اندازه‌گیری هر زیرمعیار بر اساس دو مقیاس کمّی و کیفی مشخص شده است. همچنین کیفیت مطلوب زیرمعیارها در دو دسته مثبت و منفی نشان داده شده است. شاخص‌های مثبت، شاخص‌هایی هستند که بیشتر بودن آنها مطلوبیت داشته و شاخص‌های منفی، شاخص‌هایی هستند که کمینه بودن آنها حائز اهمیت است.

از نتایج ارائه شده در این پژوهش، می‌توان در روش‌هایی که

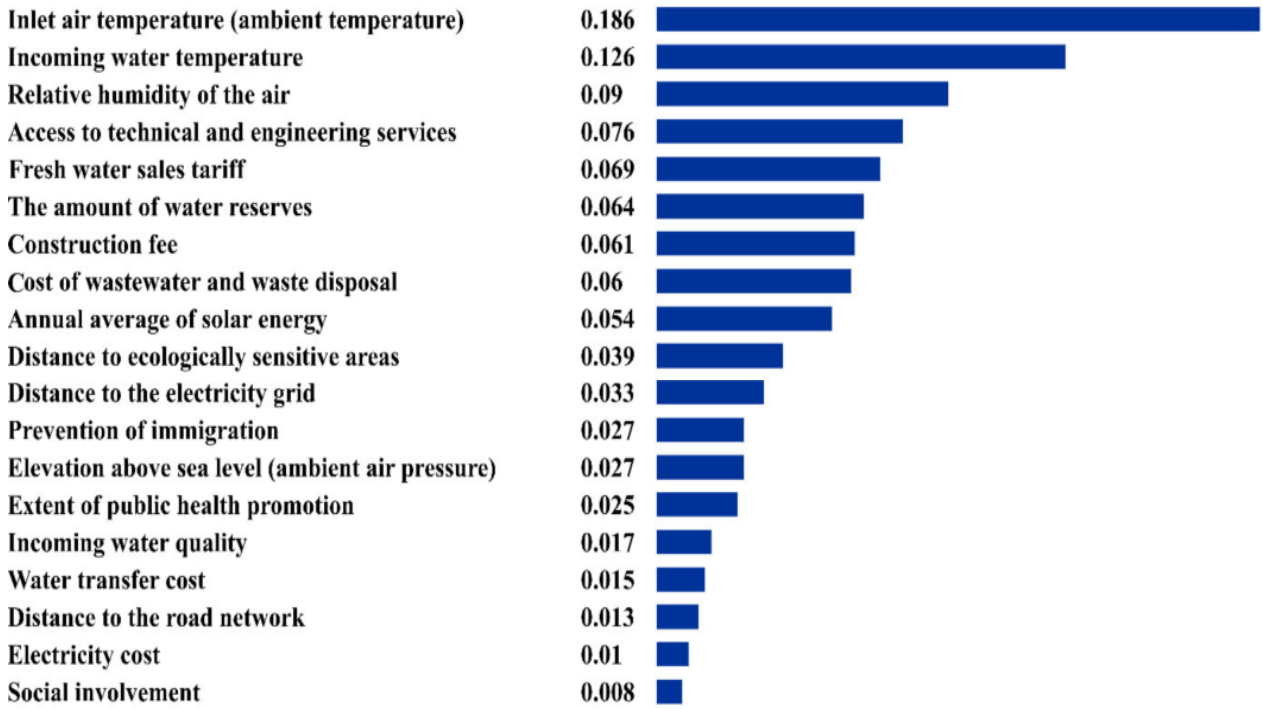

Fig. 10. Prioritization of effective factors in locating humidification-dehumidification plants

شکل ۱۰- اولویت‌بندی عوامل موثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا

جدول ۳- سیستم پشتیبان تصمیم مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های HDH بر مبنای معیارها و زیرمعیارها

Table 3. Decision support system for locating HDH desalination plants based on criteria and sub-criteria

Criteria	Weight	Sub-criteria	Weight	Type	Quality
Technical	0.45	Relative humidity of the air	0.201	Quantitative	Positive
		Inlet air temperature (ambient temperature)	0.417	Quantitative	Positive
		Elevation above sea level (ambient air pressure)	0.060	Quantitative	Positive
		Incoming water quality	0.039	Qualitative	Positive
		Incoming water temperature	0.283	Quantitative	Positive
Executive	0.186	Distance to the electricity grid	0.177	Quantitative	Negative
		Distance to the road network	0.069	Quantitative	Negative
		The amount of water reserves	0.345	Qualitative	Positive
		Access to technical and engineering services	0.410	Qualitative	Positive
Economical	0.166	Construction fee	0.285	Quantitative	Negative
		Water transfer cost	0.071	Quantitative	Negative
		Electricity cost	0.046	Quantitative	Negative
		Fresh water sales tariff	0.319	Quantitative	Positive
		Cost of wastewater and waste disposal	0.280	Quantitative	Negative
Environmental	0.132	Distance to ecologically sensitive areas	0.414	Qualitative	Positive
		Annual average of solar energy	0.586	Quantitative	Positive
Sociocultural	0.065	Social involvement	0.130	Qualitative	Positive
		Prevention of immigration	0.451	Qualitative	Positive
		Extent of public health promotion	0.419	Qualitative	Positive

جدول ۴- سیستم پشتیبان تصمیم مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های HDH بر مبنای زیرمعیارها

Table 4. Decision support system for locating HDH desalination plants based on sub-criteria

Sub-criteria	Weight	Type	Quality
Relative humidity of the air	0.090	Quantitative	Positive
Inlet air temperature (ambient temperature)	0.186	Quantitative	Positive
Elevation above sea level (ambient air pressure)	0.027	Quantitative	Positive
Incoming water quality	0.017	Qualitative	Positive
Incoming water temperature	0.126	Quantitative	Positive
Distance to the electricity grid	0.033	Quantitative	Negative
Distance to the road network	0.013	Quantitative	Negative
The amount of water reserves	0.064	Qualitative	Positive
Access to technical and engineering services	0.076	Qualitative	Positive
Construction fee	0.061	Quantitative	Negative
Water transfer cost	0.015	Quantitative	Negative
Electricity cost	0.010	Quantitative	Negative
Fresh water sales tariff	0.069	Quantitative	Positive
Cost of wastewater and waste disposal	0.060	Quantitative	Negative
Distance to ecologically sensitive areas	0.039	Qualitative	Positive
Annual average of solar energy	0.054	Quantitative	Positive
Social involvement	0.008	Qualitative	Positive
Prevention of immigration	0.027	Qualitative	Positive
Extent of public health promotion	0.025	Qualitative	Positive

خود قادر به محاسبه اوزان عوامل نبوده و باید حتماً قبل از استفاده به روشی دیگر عوامل وزن‌دهی شوند، مانند روش‌های مجموع ساده وزین[1] یا تاپسیس[2] استفاده کرد.

۵- نتیجه‌گیری

آب شرب بهداشتی یکی از نیازهای ابتدایی و اساسی هر انسان برای ادامه حیات است. با در نظر گرفتن بحران‌های حوزه آب از جمله کمبود منابع آب شیرین در نتیجه تداوم خشک‌سالی ناشی از تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و نابرابر تقاضا در مقابل عرضه آب و تغییر الگوی مصرف، می‌توان نیاز شدید به تولید آب شیرین را احساس کرد. ازاین‌رو تولید آب شیرین از دریا یکی از بزرگترین موضوعاتی است که تلاش‌های پژوهشی قابل‌توجهی را در جامعه علمی به خود اختصاص داده است.

تمامی فرایندهای شیرین‌سازی آب، مستلزم صرف هزینه و منابع انرژی هستند. هزینه‌های احداث و بهره‌برداری و نرخ بازدهی تمامی روش‌ها با هم متفاوت بوده و به شرایط محیطی وابسته هستند. طراحی و توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم در راستای مکان‌گزینی کارخانه‌های بزرگ و حتی واحدهای کوچک شیرین‌سازی آب، می‌تواند باعث بهینه‌سازی هزینه‌های احداث و بهره‌برداری و افزایش نرخ بهره‌وری آنها شود. همچنین این سیستم‌ها به مسئولین امر کمک می‌کنند که با بررسی عواملی محدود در کوتاه‌ترین زمان ممکن، تصمیماتی صحیح و بهینه را اتخاذ کنند.

در این پژوهش، در ابتدا با استفاده از نظر خبرگان و به کارگیری روش دلفی، ۱۹ عامل مؤثر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا شناسایی شد. این عوامل در قالب پنج معیار فنی، اجرایی، اقتصادی، محیط‌زیستی و فرهنگی اجتماعی مرتب شدند. پس از آن با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice که به‌طور ویژه در راستای این فرایند طراحی و ساخته شده است، وزن شاخص‌ها استخراج شدند. سپس بر اساس تحلیل‌های انجام شده، دو سیستم پشتیبان تصمیم، یکی بر اساس معیارها و زیرمعیارها و دیگری با کمک تلفیق داده‌ها در سیستم اول و تنها بر اساس زیرمعیارها ارائه شد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، وزن معیارهای فنی، اجرایی، اقتصادی، محیط‌زیستی و فرهنگی اجتماعی در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا، به‌ترتیب برابر مقدار ۰/۴۵، ۰/۱۸۶، ۰/۱۶۶، ۰/۱۳۲ و ۰/۰۶۵ بود. در بخش معیارهای فنی، عوامل دمای هوای ورودی (دمای محیطی)، دمای آب ورودی و رطوبت نسبی هوا به‌عنوان مهم‌ترین عوامل شناخته شدند. در میان عوامل اجرایی، دو عامل دسترسی به خدمات فنی و مهندسی و میزان ذخایر آب، بیشترین میزان تأثیر را داشتند. از منظر اقتصادی، به‌ترتیب تعرفه فروش آب شیرین، هزینه احداث و هزینه دفع پساب و پسماند مهم‌ترین عوامل بودند. میانگین سالانه انرژی خورشیدی و فاصله تا مناطق حساس محیط‌زیستی به‌ترتیب مؤثرترین عوامل در معیارهای محیط‌زیستی بودند. اما در معیارهای فرهنگی اجتماعی، پیشگیری از مهاجرت و میزان ارتقای بهداشت عمومی به‌عنوان اثرگذارترین عوامل شناسایی شدند. اما با رویکردی دیگر و با تلفیق وزن معیارها در زیرمعیارها، به‌ترتیب عوامل دمای هوای ورودی (دمای محیطی)، دمای آب ورودی، رطوبت نسبی هوا، دسترسی به خدمات فنی و مهندسی، تعرفه فروش آب شیرین، میزان ذخایر آب، هزینه احداث، هزینه دفع پساب و پسماند و میانگین سالانه انرژی خورشیدی، بیشترین تأثیر در مکان‌گزینی آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا را داشتند.

۶- قدردانی

به‌این وسیله نویسندگان، از اساتید بزرگوار، جناب آقای دکتر امین بهزادمهر و جناب آقای دکتر حسین زهدی فسائی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنند.

[1] Simple Additive Weighted (SAW)
[2] TOPSIS

References

Al-Hallaj, S. & Selman, J. 2002. A comprehensive study of solar desalination with a humidification-dehumidification cycle. *Middle East Desalination Research Center Report*. UK. 98-BS.

Alsaif, A. A., Elzayed, M. S., Ahmed, M., Antar, M. & Zubair, S. M. 2021. A robust definition of energy effectiveness for humidification dehumidification desalination systems. *Energy Conversion and Management*, 238**,** 114058.

Asgharizade, E. & Mohammadi Balai, A. K. 2017. *Multi-Characteristic Decision-Making Techniques*, University of Tehran Press. Tehran, Iran. (In Persian)

Badi, I., Ballem, M. & Shetwan, A. 2018. Site selection of desalination plant in Libya by using Combinative Distance-based Assessment (CODAS) method. *International Journal for Quality Research*, 12**,** 609.

Dweiri, F., Khan, S. A. & Almulla, A. 2018. A multi-criteria decision support system to rank sustainable desalination plant location criteria. *Desalination*, 444**,** 26-34.

Farsad, S., Behzadmehr, A. & Okati, W. 2018. *Solar Desalination Plants*, Avaye Ghalam, Tehran, Iran. (In Persian)

Fath, H. E. & Ghazy, A. 2002. Solar desalination using humidification-dehumidification technology. *Desalination*, 142**,** 119-133.

Ghasemi, A., Javid, A. H. & Rahmati, S. H. 2021. Proper selection of location and shape for protective structure of intake system of coastal desalination plant using numerical modeling based on hydrodynamics and quality criteria (a case study: Qeshm Island). *Arabian Journal of Geosciences*, 14**,** 1-19.

Ghodsipour, S. H. 2013. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, Amirkabir University of Technology Press. Tehran, Iran. (In Persian)

Habibi, A., Sarafrazi, A. & Izadyar, S. 2014. Delphi technique theoretical framework in qualitative research. *The International Journal of Engineering and Science*, 3**,** 8-13. (In Persian)

Hou, S. 2008. Two-stage solar multi-effect humidification dehumidification desalination process plotted from pinch analysis. *Desalination*, 222**,** 572-578.

Jorm, A. F. 2015. Using the Delphi expert consensus method in mental health research. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 49**,** 887-897.

Kabaranzad-Ghadim, M. R. & Rofoogar-Astaneh, H. 2009. Designing a decision support system (DSS) schema with applying genetic algorithm for survey of resource leveling problem-(Vehicles). *Journal of Information Technology Management*, 1(3)**,** 69-88. (In Persian)

Kuhn, M. 2002. Introduction to decision support software. *Adelphi Research gGmbH*, 14aD–14193 Berlin, 22.

Lee, W. W., Bae, S. J., Jung, Y. H., Yoon, H. J., Jeong, Y. H. & Lee, J. I. 2017. Improving power and desalination capabilities of a large nuclear power plant with supercritical CO_2 power technology. *Desalination*, 409**,** 136-145.

Lopez, A. M., Williams, M., Paiva, M., Demydov, D., Do, T. D., Fairey, J. L., et al. 2017. Potential of electrodialytic techniques in brackish desalination and recovery of industrial process water for reuse. *Desalination*, 409**,** 108-114.

Mashaiekhi, A., Farhangi, A., Momeni, M. & Alidoosti, S. 2005. Investigating the key factors affecting the application of information technology in Iranian government organizations: application of Delphi technique. *Quarterly Journal of Sciences Modares Human, Special Issue of Management*, 9(3)**,** 191-232. (In Persian)

Mohamed, S. A. 2020. Application of geo-spatial analytical hierarchy process and multi-criteria analysis for site suitability of the desalination solar stations in Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 164**,** 103767.

Mohammadi, M. & Sobhani, B. 2021. Application of Fuzzy-AHP and remote sensing in localizing water extraction from air humidity using condensing system. *Water and Irrigation Management*, 11**,** 113-130. (In Persian)

Nabavi Fard, S. M. & Hamzehpour, M. 2019. *DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)*, Tehran National Defense University, Tehran, Iran. (In Persian)

Najafi, M., Edalatkhah, D. & Haji Babaeian, M. 2019. Location of water storage tanks by hierarchical analysis method Study sample: region 1 of Tehran municipality. *Shebak Journal*, 5**,** 7-19. (In Persian)

Rahimi-Ahar, Z., Hatamipour, M. S. & Ahar, L. R. 2020. Air humidification-dehumidification process for desalination: a review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 80**,** 100850.

Rahmani, A., Vaziri Nezhad, R., Ahmadi Nia, H. & Rezaeian, M. 2020. Methodological principles and applications of the Delphi method: a narrative review. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 19(5)**,** 515-538. (In Persian)

Razdari, V. M. & Fanaee, S. A. 2021. Comprehensive review of different types of water desalination. *Journal of Renewable and New Energy*, 8(1)**,** 21-32. (In Persian)

Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15**,** 234-281.

Sanver, A. & May, S. 2010. *The Desalination Processes Site Selection, Layout and Civil Works*. *Encyclopedia of desalination and water resources*, Eolss Pub., Paris, France.

Schmidt, R. C. 1997. Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques. *Decision Sciences*, 28**,** 763-774.

Scott Morton, M. S. 1970. *Program Management and Interactive Management Decision Systems*. Massachusetts Institute of Technology Pub., Massachusetts, USA.

Sepehr, M., Fatemi, S., Danehkar, A. & Moradi, A. M. 2017. Application of Delphi method in site selection of desalination plants. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3**,** 89-102.

Tsiourtis, N. X. 2008. Criteria and procedure for selecting a site for a desalination plant. *Desalination*, 221**,** 114-125.

Turban, E., Aronson, J. E. & Liang, T. P. 2005. *Decision Support System and Intelegent System*. Yogyakarta Pub., Indonesia.

Vishnupriyan, J., Arumugam, D., Kumar, N. M., Chopra, S. S. & Partheeban, P. 2021. Multi-criteria decision analysis for optimal planning of desalination plant feasibility in different urban cities in India. *Journal of Cleaner Production*, 315**,** 128146.

World Bank, 2019. *The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scarce World*, Washington, DC, USA.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License