تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هجدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
Volume 18, No. 1, Spring 2022 (IR-WRR)
۱۳۳-۱۴۴

شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا (HDH) با رویکرد دیمتل

هادی زمان‌ثانی[۱] و علیرضا شهرکی[۲*]

چکیده

با توجه به کمبود منابع آب شیرین در ایران و بسیاری از مناطق جهان، نیاز به تأمین منابع آب شرب با استفاده از فرآیندهای شیرین‌سازی روبه افزایش است و این در حالی است که تمام فرآیندهای شیرین‌سازی به میزان قابل توجهی انرژی و منابع مالی نیاز دارند. از این رو بررسی اقتصادی فرآیندهای شیرین‌سازی آب، به منظور انتخاب بهینه روش شیرین‌سازی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. شناسایی و ارزیابی ریسک‌های مربوط به هر یک از فرآیندها، کمکی بزرگ برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها می‌باشد.

در این تحقیق در ابتدا با کمک روش دلفی، ریسک‌های دارای اهمیت در مراحل احداث و بهره‌برداری آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا از میان ۳۵ ریسک شناسایی شده است. پس از آن با استفاده از روش دیمتل که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری بر اساس مقایسات زوجی است، به اولویت‌بندی ریسک‌ها براساس میزان اثرگذاری و اثرپذیری پرداخته شده است. تعداد ۱۳ ریسک در حوزه‌های فنی، اقتصادی و پشتیبانی، اجرایی، سیاسی و زیست محیطی شناسایی شده‌اند. می‌توان ادعا کرد که عوامل انتخاب تکنولوژی نامناسب ساخت، تغییرات قیمت و ایجاد تورم، تأمین انرژی مورد نیاز، طراحی نامناسب سیستم دفع و عدم دفع صحیح پساب و پسماند و بلوغ فناوری در مقیاس بزرگ عوامل اصلی ریسک در این نوع از آب‌شیرین‌کن‌ها می‌باشند. نتایج نشان می‌دهند که مکان‌یابی احداث این دسته از آب شیرین‌کن‌ها نیازمند بررسی دقیق تفاوت دمایی و میزان شدت سرما و گرما می‌باشد. همچنین، می‌توان نتیجه گرفت که این فرآیند شیرین‌سازی، نیازمند مطالعات بیشتر برای کاربردی کردن آن در مقیاس‌های بزرگ و صنعتی می‌باشد.

کلمات کلیدی: شناسایی ریسک، دیمتل، آب‌شیرین‌کن، رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا، دلفی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۲/۸

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۲- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۱ امکانپذیر است.

Identification and Prioritization of Risks in Humidification Dehumidification Desalination Plants using the DEMATEL Approach

*H. Zamansani [1] and A. Shahraki [2]**

Abstract

Due to the scarcity of fresh water resources in Iran like many other parts of the world, the demand for providing drinking water resources using desalination processes is increasing. The desalination processes though require a significant amount of energy and financial resources. Therefore, the economic study of water desalination processes is very important in order to choose the optimal desalination method. Identifying and evaluating the risks associated with each process is a great help for the economic evaluation of such projects.

In this research, with the help of Delphi method, significant risks in the construction and operation of humidifiers-dehumidifiers have been identified among 35 risks. Then, using the DEMATEL method, which is one of the decision-making methods based on pairwise comparisons, risks were prioritized based on the degree of impact and effectiveness. A total of 13 risks have been identified in the five fields of technical, economic and support, executive, political, and environmental. It can be argued that the factors of choosing inappropriate manufacturing technology, price changes and inflation, energy supply, improper design of wastewater and waste disposal systems and large-scale technology maturity are the main risk factors in this type of desalination plants. The results showed that locating this group of desalination plants requires careful study of the temperature difference and the intensity of cold and hot conditions. It can also be concluded that to apply this desalinization process in a large and industrial scale requires further studies.

Keywords: Risk Identification, DEMATEL, Desalination, Humidification Dehumidification, Delphi.

Received: January 13, 2022
Accepted: April 28, 2022

1- M.Sc. Student of Industrial Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: H.Zamansani@pgs.usb.ac.ir
2- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. Email: Shahrakiar@Hamoon.usb.ac.ir
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1401.18.1.9.7

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

۱- مقدمه

امروزه آب شرب بهداشتی یکی از مهم‌ترین مسائل در حوزه بهداشت بین‌المللی است. کمبود آب شرب بهداشتی موجب بروز مسائل جدی در مناطق خشک جهان شده است. به طوری که آب شیرین در این مناطق، نادر و تبدیل به منبعی گران‌قیمت شده است. افزایش روزافزون جمعیت کره زمین و افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی باعث کاهش منابع آب شیرین و افزایش شوری آب‌های زیرزمینی گردیده است. علاوه بر این ۹۷٪ منابع آبی کره زمین را آب‌های شور و بدمزه تشکیل می‌دهند. شیرین‌سازی آب شور، یکی از قدیمی‌ترین اشکال تأمین آب شرب توسط انسان‌ها بوده که درحال حاظر نیز در سرتاسر جهان محبوب می‌باشد (Farsad et al., 2018).

یکی از مهم‌ترین عوامل در یک پروژه، آگاهی و توجه نسبت به ریسک‌های آن و فراهم کردن شرایط لازم برای دستیابی به اهداف پروژه است، این مهم به عنوان مدیریت ریسک شناخته می‌شود (Arish et al., 2010). در دانش مدیریت پروژه، ریسک پروژه یک اتفاق یا شرایطی نامعلوم است که در صورت وقوع، بر اهداف پروژه از قبیل زمان، هزینه، کیفیت و دامنه مصوب پروژه اثرات مثبت یا منفی می‌گذارد (Project Management Institute, 2017). در مدیریت پروژه[1] هدف از مدیریت ریسک پروژه، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت و کنترل فعالیت‌ها و فرآیندهای پروژه است به گونه‌ای که اثرات فرصت‌ها بیشینه و اثرات تهدیدها کمینه شود (Arish et al., 2010). به عبارت دیگر مدیریت ریسک پروژه یک فرآیند سیستماتیک شامل شناسایی، آنالیز و پاسخگویی به همراه پایش مداوم و کنترل آلترناتیوها[2] می‌باشد. با به کارگیری فرآیند کامل مدیریت ریسک پروژه، می‌توان ادعا کرد که این مدیر است که بر شرایط غیرقطعی پروژه اشراف دارد، نه آنکه شرایط و اتفاقات، مدیر را اسیر خود می‌کنند. هدف اصلی مدیریت ریسک پروژه، بهبود عملکرد پروژه از طریق شناسایی، ارزیابی و مدیریت نظام‌مند آن در مواجه با ریسک است (Naseri et al., 2017).

به دلیل پیچیده شدن تصمیم‌گیری‌های اقتصادی، ریسک‌ها نقش زیادی را در اقتصادی بودن یا نبودن پروژه‌ها دارند. همواره سرمایه‌گذاری در صنایع مختلف از جمله صنعت آب دارای نقاط مبهمی بوده است. درگذشته به منظور پیش‌بینی مواجهه با این موارد، در محاسبات درصدی را به عنوان عدم قطعیت لحاظ می‌کردند. این درصد به صورت تخمینی و براساس تجربیات پیمانکاران محاسبه می‌شد. اما امروزه روش‌هایی جهت شناسایی و کنترل موارد ابهام یا همان ریسک‌ها وجود دارد.

عدم کفایت مطالعات و اطلاعات محلی از شرایط زمین و محل کار، کمبود یا عدم دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز، افزایش قیمت و ایجاد تورم، کافی نبودن دانش بهره‌برداران، زمان‌بندی‌های نادرست فرآیندها، بهره‌وری ناکافی، تغییرات ساختاری یا عدم همکاری سازمان‌ها و ادارات مرتبط از جمله ریسک‌های اثرگذار در تولید و بهره‌برداری از آب‌شیرین‌کن‌ها می‌باشند. با توجه به این شرایط، شناسایی و رتبه‌بندی این عوامل می‌تواند کمک فراوانی به شرکت‌ها و بهره‌برداران برای انتخاب روش مناسب شیرین‌سازی آب نماید.

در این مقاله آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن–رطوبت‌زدا را به منظور شناسایی و رتبه‌بندی عوامل ریسک در مراحل ساخت و بهره‌برداری مورد بررسی قرار داده‌ایم. در بخش دوم ادبیات و پیشینه تحقیق، در بخش سوم روش تحقیق و در بخش چهارم به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته شده است.

۲- ادبیات و پیشینه تحقیق

طبیعت دارای منابع آب فراوان می‌باشد. ۹۷٪ این منابع را آب‌های شور و بدمزه تشکیل داده‌اند، ۲٪ به صورت یخ در قطب‌ها و یخچال‌های طبیعی هستند و تنها ۱٪ از این منابع برای آشامیدن، استفاده‌های خانگی و کشاورزی در دسترس هستند. همین منابع محدود نیز به صورت متناسب و یکنواخت برروی کره زمین توزیع نشده‌اند. به همین دلیل، استفاده از فرآیندهای شیرین‌سازی رو به افزایش است. به طور کلی می‌توان آب‌شیرین‌کن‌ها را بر اساس دو معیار متفاوت شامل، نوع فرآیند جداسازی (فرآیند نمک‌زدایی) و نوع انرژی مورد استفاده برای جداسازی طبقه‌بندی نمود. در ادامه انواع فناوری شیرین‌سازی آب به اختصار بیان می‌گردد (Farsad et al., 2018).

شیرین‌سازی آب به روش انجماد براساس تشکیل بلور یخ از آب شور عمل می‌کند. در این روش، دمای آب شور به دمای انجماد رسانده می‌شود، درنتیجه آب شور یخ زده و املاح و ناخالصی‌ها در سطح خارجی آن جای می‌گیرند. درنهایت، یخ را به منظور عاری کردن از هرگونه ناخالصی، شسته و سپس ذوب می‌کنند تا آب شیرین به دست آید. این روش در مقایسه با سایر روش‌های حرارتی دارای رسوب‌دهی، جرم‌گرفتگی و خوردگی کم‌تری است. همچنین، انرژی مورد نیاز در این روش بسیار کم‌تر از سایر روش‌های حرارتی می‌باشد. اما به دلیل هزینه‌های بالای تولید یخ و فرآیندهای شست و شوی نمک و جداسازی آن از کریستال‌های یخ، فاقد صرفه اقتصادی برای آب شیرین‌کن‌های شهری بوده و محدود به آب شیرین‌کن‌های کوچک می‌باشد (Razdari & Fanaee, 2021).

شیرین‌سازی آب به روش اسمز معکوس[3] در قرن ۱۸ میلادی براساس انتقال ماده حلال به طور مثال آب از میان جداره‌های نیمه تراوا[4] پایه‌گذاری شده است (Farsad et al., 2018). این روش، فرآیندی است که طی آن از یک غشای نیمه تراوا برای تولید آب خالص و حذف یون‌ها، مولکول‌ها و ذرات بزرگ‌تر حل شده در آب استفاده می‌شود، در نتیجه اگر یک غشای نیمه تراوا بین دو محلول آب خالص و آب ناخالص قرار گیرد، آب به صورت طبیعی و تحت خاصیت اسمزی از غلظت پایین تر به غلظت بالاتر جاری می‌شود (Faridi Rad, 2021). در این فرآیند، آب شور توسط پمپ و تحت فشاری مشخص به داخل محفظه‌ای که دارای غشاء نیمه تراوا می‌باشد، رانده می‌شوند. چون ناخالصی‌ها قادر به عبور از غشاء نیستند، دریک طرف غشاء آب تقریباً خالص و در طرف دیگر آن، آب تقلیظ شده از ناخالصی‌ها قرار خواهد گرفت (Farsad et al., 2018).

فرآیند شیرین‌سازی الکترودیالیز[5] (EDR)، با استفاده از جریان مستقیم برق، انجام می‌گردد. از آن جهت که اغلب نمک‌های محلول در آب ذاتاً یونی هستند و این روش قادر به کاهش یون‌های آب می‌باشد، فرآیند شیرین‌سازی الکترودیالیز جذابیت بسیاری برای محققان دارد. این روش در مقایسه با سایر روش‌های غشایی، به دلیل استفاده از پمپ‌های کم‌فشار، دارای هزینه ساخت پایین‌تر و راندمان بالاتری می‌باشد (Yousefvand et al., 2015).

فرآیند شیرین‌سازی ناگهانی چند مرحله‌ای[6] (MSF)، اساساً برای شیرین‌سازی آب دریا از این روش استفاده می‌شود. این فرآیند در ۳۰ سال اخیر جزء اقتصادی‌ترین روش‌ها به حساب می‌آید. در این روش آب ورودی از دریا، توسط سیستم‌هایی تا دمایی معین گرم می‌شوند، سپس در یک محفظه که دارای فشار کم‌تر از فشار بخار اشباع آب هستند، تخلیه می‌گردد. بنابراین، درصدی از آب ورودی به صورت ناگهانی به بخار تبدیل می‌شود. این بخار عاری از هرگونه نمک و مواد عالی دیگر است. در ادامه بخار حاصل شده را از میان یک غبارگیر عبور داده و با استفاده از یک صفحه خارجی که توسط لوله‌های انتقال حرارتی ساخته شده‌اند، تقطیر می‌کنند (Farsad et al., 2018).

روش تقطیر چند اثره[7] (MED) به عنوان مهم‌ترین فرآیند تقطیری شناخته می‌شود؛ زیرا با کمک این روش می‌توان حجم آب شیرین بسیاری را تولید کرد (Farsad et al., 2018). در این روش، آب شور ورودی در چندین مرحله و با استفاده از روش گرما دادن یا تبخیر ناگهانی به بخار تبدیل می‌شود (Khoshgoftar Manesh et al., 2019). بخار آب وارد یک سری لوله می‌شود که در آنجا توسط برخورد آب ورودی با سطح لوله‌ها تقطیر می‌شود. از طرفی گرمای گرفته شده از بخار، جذب آب ورودی شده و آن را بخار می‌کند. بخار آب ایجاد شده مجدداً وارد لوله‌ها شده و بخشی از گرمای خود را به آب ورودی می‌دهد تا تبخیر شود. چندین مرحله از این سردسازی و تبخیر انجام می‌شود تا فرآیند MED کامل گردد (Farsad et al., 2018).

روش تقطیر بخار فشرده[8] (VCD) یک فرآیند ساده قابل اطمینان و با راندمان عملکردی تقریباً بالا است. این روش یکی از کارآمدترین روش‌های مورد استفاده در نمک‌زدایی در مقیاس‌های کوچک و متوسط به حساب می‌آید (Farahat et al., 2022). این فرآیند شبیه به فرآیند MED عمل می‌کند، تنها تفاوت این روش، این است که بخار تولید شده در یک واحد چگالنده مجزا سرد نمی‌شود. در این روش یک کمپرسور، بخار را به سمت بخار تولید شده در تبخیر کننده بر می‌گرداند. این کار باعث می‌شود قسمت بیشتری از آب شور تبخیر شود (Farsad et al., 2018).

آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی از انرژی خورشید برای تولید آب شیرین بهره می‌برند. این آب شیرین‌کن‌ها با استفاده از فرآیند تقطیر، آب‌های شور و آلوده را تصفیه می‌کنند (Razdari & Fanaee, 2021). این آب‌شیرین‌کن‌ها به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی مستقیم، آب شیرین شده مستقیماً در داخل جمع‌کننده خورشیدی تولید می‌شود. امّا آب‌شیرین‌کن‌های غیرمستقیم شامل دو بخش مختلف می‌باشد. یک بخش انرژی خورشید را به گرما یا الکتریسیته تبدیل کرده که گردآورنده خورشیدی نامیده می‌شود و قسمت دوم شامل یکی از روش‌های معمول نمک‌زدایی است (Farsad et al., 2018).

روش رطوبت‌زن–رطوبت‌زدا[9] (HDH) بر پایه این حقیقت استوار است که هوا می‌تواند با مقدار زیادی از بخار آب مخلوط شده و این قابلیت هوا با افزایش دما، افزایش می‌یابد. می‌توان این روش را مهم‌ترین پیشرفت اخیر در مورد آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی دانست (Farsad et al., 2018). در این روش، آب شور به طور مستقیم یا غیرمستقیم گرم شده و هوای محیط را مرطوب می‌کند. سپس با عبور جریان هوا از میان محیط مرطوب، جریان هوا مقدار مشخصی از بخار آب را به خود جذب می‌کند. در ادامه جریان هوا از یک واحد رطوبت‌گیر عبور داده می‌شود. طی این فرآیند و میعان صورت گرفته، آب شیرین تولید می‌شود (Kasaeian et al., 2019). این روش به عنوان یک فرآیند مناسب برای شیرین‌سازی آب با میزان شوری بالا و در مقیاس‌های کوچک و متوسط، مناسب می‌باشد (Rahimi-Ahar et al., 2020). از مزیت‌های این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- انعطاف‌پذیری میزان تولید، به گونه‌ای که با تغییر سطوح چگالنده یا رطوبت‌زن، می‌توان میزان تولید را تغییر داد؛
۲- نصب و راه‌اندازی آسان؛
۳- قیمت مناسب؛
۴- فرآیند ساده امّا کاربردی؛
۵- امکان استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر مانند انرژی زمین‌گرمایی، انرژی بازیافت کارخانه‌ها و سایر منابع حرارتی برای افزایش دمای آب

Farahat et al. (2022) به بررسی خطرات پروژه‌های آب شیرین‌کن در مقیاس‌های بزرگ پرداخته‌اند. آنها دو سطح از شاخص‌های ریسک را شناسایی کرده‌اند. ریسک‌های سطح اول شامل ریسک آب مصرفی و خروجی، ریسک پردازش، ریسک مالی و ریسک شرایط است. در این پژوهش یک روش ارزیابی جامع فازی[۱۰] (FCE) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی[۱۱] (AHP) برای انجام ارزیابی‌های کمی ریسک برای پروژه‌های نمک‌زدایی در مقیاس بزرگ معرفی شده است. آنها با بررسی سه پروژه آب‌شیرین‌کن، نشان دادند که سطح مخاطرات در تمامی پروژه‌ها بسیار کم می‌باشد.

Alkhulaifi et al. (2021) پیش‌بینی عملکرد و امکان‌سنجی اقتصادی سیستم نمک‌زدایی رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا را مد نظر قرار داده‌اند. آنها مطالعات خود را تحت تغییرات دماهای ژنراتور، کندانسور، اواپراتور و شدت تابش خورشیدی انجام داده‌اند. در این پژوهش پارامترهای بسیاری از جمله تولید آب شیرین، ظرفیت خنک‌کننده، COP[۱۲]، GOR[۱۳]، تخریب اگزرژی و هزینه‌های محصول مورد بررسی قرار گرفته‌اند. آنها نشان دادند که کارکرد ۲۴ ساعته و جایگزینی کلکتورهای خورشیدی با بازیافت گرمای تلف شده، منجر به کاهش شدید قیمت تمام شده محصولات می‌گردد.

Darwish & Zubari (2020) به تدوین مدل مدیریت ریسک استراتژیک با رویکرد آینده‌پژوهی و بررسی نیاز آینده شورای همکاری خلیج فارس به آب‌شیرین‌کن‌ها پرداخته‌اند. در این پژوهش ساختاری برای تنظیم برنامه‌های مدیریت ریسک ارائه گردیده است. پژوهشگران مدعی هستند که با استفاده از این ساختار، شورای همکاری خلیج فارس می‌تواند برنامه‌ای استراتژیک برای حل مشکل تأمین آب شرب برای نسل فعلی و آینده را با حداقل هزینه‌های مالی، اقتصادی و زیست‌محیطی، تدوین نماید.

Kashani & Ghodsipour (2017) به ارزیابی اثرات ریسک‌های زیست محیطی پروژه‌های آب شیرین‌کن با کمک گرفتن از روش تحلیل ریسک پرداخته‌اند. آنها در این مقاله، تحلیل ریسک زیست محیطی مراحل ساخت و بهره‌برداری پروژه شیرین‌سازی و انتقال آب را مدنظر قرار داده‌اند. در این پژوهش ریسک‌ها به دو دسته ریسک‌های ساخت و بهره‌برداری تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین ریسک‌های شناسایی شده در دو دسته عبارتند از عدم رعایت محدوده مصوب حفاری بستر دریا، نشت مواد روغنی و نفتی به دریا، افزایش شوری و فلزات سنگین در پساب خروجی به دلیل اختلال در عملکرد سیستم تنظیم مواد شیمیایی و وقوع طوفان‌های دریایی.

Heidarzadeh & Najafizadeh (2016) انواع مختلف آب‌شیرین‌کن‌های MED، MSF، RO و HDH را از نظر فنی و اقتصادی بررسی کرده‌اند. آنها در این پژوهش مزایای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را نیز در مطالعات خود منظور کرده‌اند. در این پژوهش ذکر شده که در روش HDH به علت پایین بودن میزان مصرف انرژی حرارتی، می‌توان تمام انرژی حرارتی مورد نیاز یک واحد HDH را به وسیله انرژی خورشید تأمین کرد.

Koulinas et al. (2012) به رتبه‌بندی ریسک‌های احداث کارخانه نمک‌زدایی با کمک روش AHP ترکیبی و ماتریس ریسک پرداخته‌اند. آنها در ابتدا ریسک‌هایی که موجب تأخیر در احداث پروژه‌ها و تخمین نادرست زمان تکمیل آنها می‌شوند را شناسایی و رتبه‌بندی کرده‌اند. سپس با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۱۴]، چارچوبی را پیشنهاد داده‌اند که پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از زمان اتمام پروژه را نسبت به روش کلاسیک PERT[۱۵]، ارائه می‌نماید.

در این پژوهش ریسک‌های جدیدی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، تمامی مطالعات گذشته به مطالعه ریسک در آب‌شیرین‌کن‌ها بدون توجه به سیستم آنها پرداخته است. در این پژوهش سعی گردیده، تمامی ریسک‌ها در مراحل احداث و بهره‌برداری آب‌شیرین‌کن‌های HDH شناسایی شده و میزان شدت وقوع آنها ارزیابی گردد.

۳- روش تحقیق

روش دیمتل[۱۶] (آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری، DEMATEL) یکی از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر اساس مقایسه زوجی است که توسط فونتلا[۱۷] و گابوس[۱۸] در اواخر سال ۱۹۷۱ میلادی برای بررسی مسائل پیچیده ارائه گردید. روش دیمتل[۱۹] به منظور شناسایی و بررسی روابط میان معیارها و تشکیل ماتریس روابط به کار گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، روش دیمتل به کاربران اجازه می‌دهد که مقدار زیادی اطلاعات واقعی مربوط به مشکل که برآمده از نظرات

شخصی افراد در موقعیت‌های متفاوت جامعه است را به منظور نشان دادن تأثیرات متغیرها برروی یکدیگر، باهم ترکیب کنند. این روش می‌تواند ادراکات ذهنی افراد از مسائل مختلف را به درستی شناسایی کرده، به خوبی اندازه‌گیری کند و مدل‌سازی نماید (Hamzehpour & Nabavi Fard, 2019). شکل ۱ فرآیند اجرای روش دیمتل در این پژوهش را نشان می‌دهد.

این روش می‌تواند وابستگی‌های متقابل و محدودیت روابط میان متغیرها و ویژگی‌ها را منعکس نماید. دیمتل در نشان دادن ساختار روابط علی و معلولی پیچیده مسائل در قالب ماتریس و نمودار بسیار دقیق عمل می‌کند. همچنین می‌تواند رابطه بین علل و اثرات معیارها را در یک مدل ساختاری قابل فهم از سیستم به نمایش بگذارد. این روش از یک ماتریس بـــه منظور نشان دادن تمامی روابط مستقیم و غیر مستقیم و سطح اثرگذاری میان عوامل استفاده می‌کند (Hamzehpour & Nabavi Fard, 2019).

عوامل و عناصر موجود در یک سیستم را می‌توان از طریق روش‌هایی نظیر مرور ادبیات موضوع، به کارگیری روش دلفی[۲۰]، ایده‌پردازی[۲۱]، طوفان فکری[۲۲]، افکار نگاری[۲۳]، تکنیک گروه اسمی[۲۴]، پرسشنامه و مصاحبه شناسایی کـــرد. استفاده از روش‌های ذکر شده، زمان‌بر بـوده، اما مـوجب تعامل بیشتری میان کارشناسان و خبرگان می‌گـــردد (Hamzehpour & Nabavi Fard, 2019).

در این تحقیق به منظور شناسایی ریسک‌های موجود از روش دلفی استفاده شده است. روش دلفی با مشارکت افرادی انجام می‌پذیرد که در موضوع پژوهش، دارای دانش و تخصص باشند. این افراد با عنوان پانل دلفی شناخته می‌شوند. از آنجا که نتایج کار بستگی به شایستگی و دانش این افراد دارد، پانل دلفی این تحقیق از میان سازندگان، پیمانکاران، مجریان و کارشناسانی که در زمینه آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن–رطوبت‌زدا صاحب‌نظر هستند، تشکیل گردید. در این راستا، برای تعیین میزان اتفاق نظر میان اعضای پانل، از ضریب هماهنگی کندال[۲۵] استفاده شده است. در ابتدا با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی مطالعات گذشته، فهرستی شامل ۳۶ ریسک مربوط به مراحل احداث و بهره‌برداری آب‌شیرین‌کن‌های HDH شناسایی شد و سپس با تهیه و تنظیم پرسشنامه و به کارگیری سه مرحله روش دلفی، تعداد ۱۳ ریسک در چهار گروه فنی، اقتصادی و پشتیبانی، اجرایی و زیست محیطی انتخاب گردیدند.

۳-۱- شناسایی عوامل دارای اهمیت با کمک روش دلفی

در این پژوهش، پس از تعیین موضوع و ابعاد آن، پژوهش‌ها و مطالعات پیشین بررسی گردید و ریسک‌های احداث و بهره‌برداری از آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن–رطوبت‌زا استخراج گردید. براساس موضوع، تخصص‌های مورد نیاز تعیین و اعضای پانل دلفی با استفاده از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی انتخاب شدند.

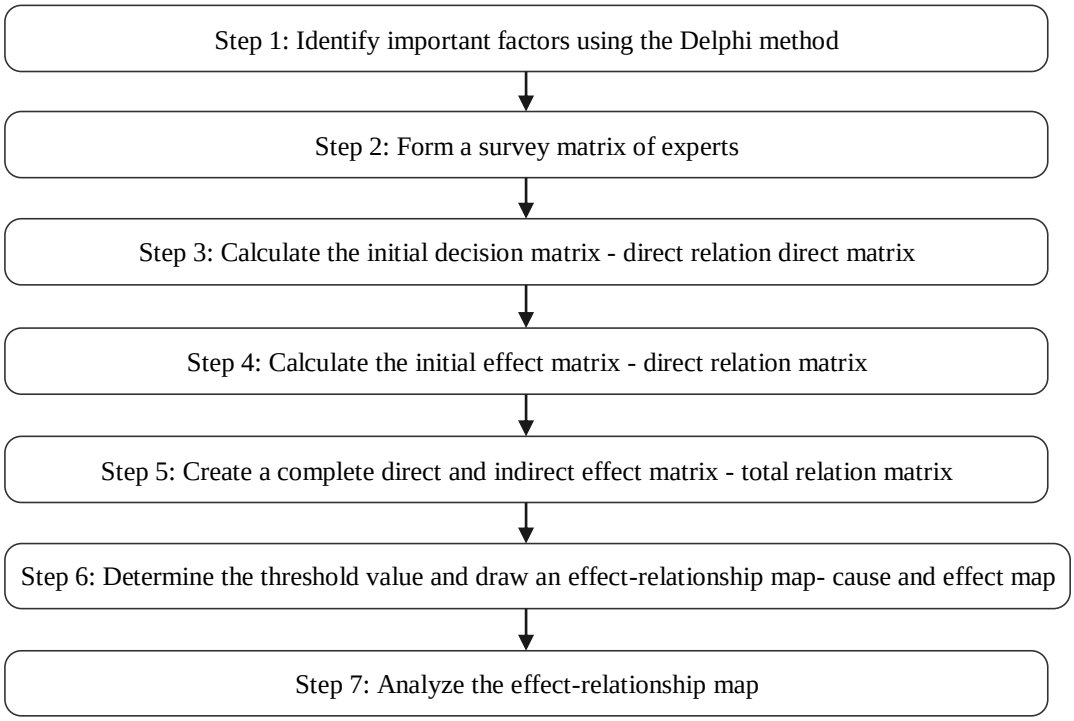

Fig. 1- DEMATEL method implementation process

شکل ۱- فرآیند اجرای روش دیمتل

پس از تعیین اعضای پانل دلفی، سه دور روش دلفی انجام شد. در هر دور پرسشنامه‌ها به صورت حضوری توزیع و گردآوری گردید. شکل ۲ فرآیند اجرای روش دلفی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

در این پژوهش به منظور تعیین میزان اتفاق نظر میان اعضاء، از ضریب هماهنگی کندال استفاده شده است. ضریب هماهنگی کندال مقیاسی برای تعیین درجه هماهنگی و اتفاق نظر میان نظرات K فرد درخصوص رتبه‌بندی N عامل است. درواقع با کاربرد این مقیاس می‌توان همبستگی رتبه‌ای میان K مجموعه از رتبه‌ها را یافت. ضریب هماهنگی کندال نشان می‌دهد، افرادی که چند مقوله را براساس اهمیت آنها مرتب کرده‌اند، به طور اساسی معیارهای مشابهی را برای قضاوت درباره اهمیت هر یک از مقوله‌ها به کار برده‌اند و از این لحاظ با یکدیگر اتفاق نظر دارند (Mashayekhi et al., 2005). ضریب هماهنگی کندال با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

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

که در آن $s=\sum(R_j-\frac{\sum R_j}{N})^2$ حاصل جمع مربعات انحراف‌های R_jها از میانگین R_jها، R_j مجموع امتیازات مربوط به یک عامل، K تعداد اعضای پانل و N تعداد عوامل رتبه‌بندی شده است. مقدار ضریب هماهنگی کندال همواره عددی بین صفر و یک خواهد بود. به عبارت دیگر مقدار این مقیاس در هنگام موافقت کامل اعضاء پانل برابر یک و در صورت عدم هماهنگی کامل برابر صفر خواهد بود. اشمیت[۲۶] درخصوص تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه دورهای روش دلفی، دو معیار آماری را ارائه می‌کند.

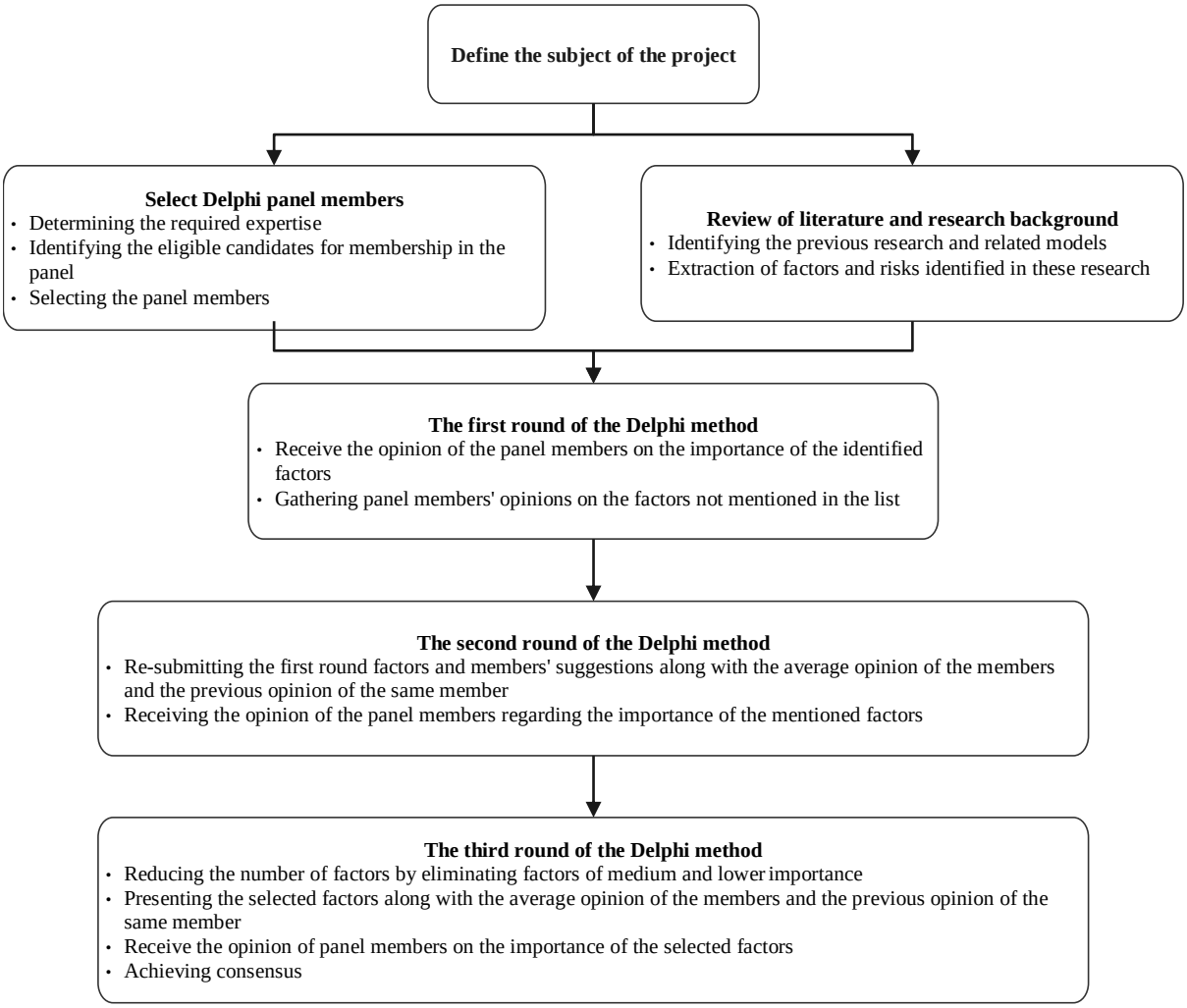

Fig. 2- Delphi method implementation process

شکل ۲- فرآیند اجرای روش دلفی

اولین معیار، اتفاق نظری قوی میان اعضای پانل است که براساس ضریب هماهنگی کندال تعیین می‌شود. دومین معیار درصورت عدم وجود اتفاق نظر قوی و ثابت ماندن این ضریب یا تغییر ناچیز آن در دو دور متوالی است که فرآیند نظرخواهی باید متوقف شود؛ زیرا نشان می‌دهد که افزایشی در توافق نظر اعضاء صورت نگرفته است (Mashayekhi et al., 2005).

در دور اول فهرستی از عوامل شناسایی شده، که از پژوهش‌های پیشین جمع‌آوری شده بودند، به منظور تعیین میزان اهمیت آنها در اختیار اعضای پانل قرار گرفت. همچنین، از آنها درخواست شد، سایر عواملی که در فهرست بیان نشده است را ارائه نمایند. در این دور، ۱۱ عامل از میان ۳۶ عامل که از پژوهش‌های پیشین استخراج شده بودند، توسط اعضای پانل، دارای تأثیر زیاد و خیلی زیاد، تشخیص داده شدند. همچنین، در مجموع ۵ عامل جدید توسط اعضاء مطرح گردید که با ترکیب برخی از آنها تعداد ۲ عامل باقی ماند. که به فهرست اولیه اضافه شد.

در دور دوم، به منظور رعایت احتیاط، مجدداً تمامی عوامل مستخرج از پژوهش‌های پیشین و عوامل پیشنهادی اعضای پانل در دور اول را به همراه میانگین نظر اعضاء و نظر پیشین همان عضو در اختیار کلیه صاحب‌نظران پانل قرار دادیم. در این دور، اعضاء تعداد ۱۳ عامل از میان ۳۸ عامل را دارای تأثیر زیاد و خیلی زیاد تشخیص دادند. ضریب هماهنگی کندال برای پاسخ اعضاء در این مرحله، مقدار ۰/۴۱۴ به دست آمد. در دور سوم براساس میانگین نظرات اعضای پانل، عوامل دارای اهمیت متوسط و پایین‌تر حذف گردید و فهرست عوامل دارای اهمیت زیاد و خیلی زیاد به همراه میانگین نظر اعضاء و نظر پیشین همان عضو درخصوص هر عامل در اختیار کلیه اعضای پانل دلفی قرار گرفت. در این دور نیز اعضاء نظرات خود، درباره میزان اهمیت هریک از عوامل در احداث و بهره‌برداری آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن- رطوبت‌زدا را بیان کردند. ضریب هماهنگی کندال برای پاسخ اعضاء در این مرحله، مقدار ۰/۵۰۴ به دست آمد.

۳-۲- ساخت ماتریس نظرسنجی

پس از شناسایی عوامل دارای اهمیت در احداث و بهره‌برداری آب‌شیرین‌کن‌های HDH با کمک فرآیند دلفی، نوبت به گام دوم یا همان تشکیل ماتریس نظرسنجی از کارشناسان و خبرگان می‌رسد. در این مرحله ابتدا پرسشنامه مرتبط با عوامل شناسایی شده را مطابق شکل ۳ تشکیل داده و از کارشناسان و خبرگان درخواست شد تا روابط میان عوامل را به صورت مقایسات زوجی و با درنظر گرفتن رابطه مستقیم علت و معلولی با استفاده از طیف‌های مشخص شده، تعیین نمایند. جدول ۴، طیف‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

		Effect			
		F_1	F_2	…	F_n
Cause	F_1	0	P_{12}		P_{1n}
	F_2	P_{21}	0		P_{2n}
	…			0	
	F_n	P_{n1}	P_{n2}		0

Fig. 3- Survey matrix of specialists and experts
شکل ۳- ماتریس نظرسنجی از کارشناسان و خبرگان

Table 1- Measurement spectra
جدول ۱- طیف‌های اندازه‌گیری

Numerical expression	Verbal phrase
0	Effectless
1	Low impact
2	Medium impact
3	high impact
4	Too much impact

بدین ترتیب برای هر کارشناس ماتریس $P_k=[P_{ij}]_{n\times n}$ تشکیل می‌گردد. که در آن F_i، عوامل شناسایی شده در گام اول و P_{ij}، اثر عامل iام بر عامل jام و K تعداد کارشناسان و خبرگان می‌باشد. باید توجه داشت که قطر اصلی هر ماتریس P_k برابر صفر خواهد بود؛ زیرا هر عامل برروی خودش اثری نخواهد داشت.

۳-۳- محاسبه ماتریس تصمیم‌گیری اولیه

در این مرحله نظرات کارشناسان و خبرگان با هم ادغام شده تا شرایط برای محاسبات فراهم گردد. برای این منظور از امتیازاتی که کارشناسان و خبرگان در مقایسات زوجی لحاظ کرده‌اند، میانگین حسابی ساده گرفته می‌شود. ماتریس تصمیم‌گیری اولیه را به صورت $A=[a_{ij}]_{n\times n}$ نشان می‌دهیم که در آن a_{ij} عبارت است از میانگین حسابی ساده از امتیازاتی که کارشناسان و خبرگان در مرحله قبل به اثر مستقیم عامل i بر عامل j داده‌اند. a_{ij}ها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردند:

$$a_{ij}=\frac{1}{k}\sum_{1}^{k}P_{ij} \qquad (۲)$$

۳-۴- محاسبه ماتریس اثر اولیه

با نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه A، ماتریس اثر اولیه D به دست می‌آید. با نرمال‌سازی، امتیازات هم‌رده شده و امکان مقایسه

سطوح اثرگذاری و اثرپذیری فراهم می‌گردد. ماتریس D، شدت اثرگذاری و اثرپذیری اولیه عوامل بریکدیگر را نشان دهد. این ماتریس با استفاده از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$D=s.A \quad ; \quad s>0$$
$$D=[d_{ij}]_{n\times n}=s.[a_{ij}]_{n\times n} \quad ; \quad s>0 \quad ; \quad i,j\in\{1,2,\ldots,n\} \qquad (۳)$$

برای محاسبه ماتریس اثر اولیه، باید ضریب نرمال‌سازی در تمام درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری اولیه ضرب شود. ضریب نرمال‌سازی را با s نشان داده که از رابطه (۴) بدست می‌آید:

$$s=\min\left(\frac{1}{\max\limits_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}[a_{ij}]},\frac{1}{\max\limits_{1\le j\le n}\sum_{i=1}^{n}[a_{ij}]}\right) \qquad (۴)$$

که در آن $\max\limits_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}[a_{ij}]$، بیشترین مجموع ردیفی و $\max\limits_{1\le j\le n}\sum_{i=1}^{n}[a_{ij}]$، بیشترین مجموع ستونی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه A می‌باشند. به حاصل جمع درایه‌های هر ردیف i از ماتریس A، مجموع ردیفی و به حاصل جمع هر ستون j از ماتریس A، حاصل جمع ستونی گفته می‌شود.

۳-۵- ایجاد ماتریس کامل اثر مستقیم و غیرمستقیم

اگر ماتریس اثر اولیه را به توان برسانیم، با درنظر گرفتن خاصیت ضرب ماتریس‌ها، اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل بر یکدیگر همراه با بازخوردهای ممکن، قابل مشاهده می‌گردند. با افزایش توان ماتریس اولیه، به یک تصاعد هندسی نامتناهی از اثرات مستقیم و غیرمستقیم دست می‌یابیم که به دلیل کاهش پیوسته اثرهای غیرمستقیم در طول زنجیره تصاعد، به ماتریس معکوس همگرا می‌شود. به عبارت دیگر، در این مرحله ماتریسی ایجاد می‌گردد که روابط مستقیم و غیرمستقیم میان عوامل را نشان می‌دهد. رابطه (۵) نحوه محاسبه تصاعد هندسی و ایجاد ماتریس رابطه کل T را نشان می‌دهد:

$$T=[t_{ij}]_{n\times n}=\lim_{n\to\infty}\left(D+D^2+D^3+\ldots+D^n\right)=\frac{D(I-D^n)}{(I-D)}$$
$$\lim_{n\to\infty}D^n=0 \qquad (۵)$$
$$\lim_{n\to\infty}\frac{D(I-D^n)}{(I-D)}=\frac{D}{I-D}=D(I-D)^{-1}$$

مجموع هر سطر i از ماتریس T نشان‌دهنده میزان نفوذ و سطح اثرگذاری عامل F_i به عنوان یک علت بر سایر عوامل است. همچنین، مجموع هر ستون j از ماتریس T نشان‌دهنده میزان نفوذ و اثرگذاری سایر عوامل بر عامل F_j است. با محاسبه مجموع هر سطر و مجموع هر ستون، می‌توان تمامی عوامل را از دیدگاه اثرگذاری و اثرپذیری، اولویت‌بندی کرد. روابط (۶) و (۷) به ترتیب روش محاسبه ماتریس اثرگذاری و ماتریس اثرپذیری را نشان می‌دهد.

$$C=[c_i]_{n\times 1}=\left[\sum_{j=1}^{n}t_{ij}\right]_{n\times 1} \qquad (۶)$$

$$E=[e_j]_{1\times n}=\left[\sum_{i=1}^{n}t_{ij}\right]_{1\times n} \qquad (۷)$$

که در آن C ماتریس اثرگذاری و c_i میزان نفوذ و سطح اثرگذاری عامل F_i بر سایر عوامل و E ماتریس اثرپذیری و e_j میزان نفوذ و اثرگذاری سایر عوامل بر عامل F_j می‌باشند. با کمک مقادیر c_i و e_j می‌توان برای هر عامل دو مقدار کلیدی شدت تعامل و شدت اثرگذاری را نیز محاسبه کرد. روابط (۸) و (۹) به ترتیب روش محاسبه شدت تعامل و شدت اثرگذاری را نشان می‌دهند:

$$c_i+e_j \quad ; \quad i=j \qquad (۸)$$

$$c_i-e_j \quad ; \quad i=j \qquad (۹)$$

شدت تعامل، میزان ارتباط هر عامل با عوامل دیگر را نشان می‌دهد. این شاخص نشانگر میزان اهمیت و برتری هر معیار است. به عبارت دیگر هرچه این شاخص بزرگتر باشد، میزان ارتباط و اهمیت عامل بیشتر خواهد بود. شاخص شدت اثرگذاری، تأثیر خالص عامل i برروی کل سیستم را نشان می‌دهد. اگر این شاخص مثبت باشد، عامل i به عنوان یک عامل اثرگذار برروی سایر عوامل شناسایی می‌گردد. اما اگر این شاخص منفی باشد، عامل i به عنوان یک عامل اثرپذیر از سایر عوامل می‌باشد. بنابراین، هرچه شاخص شدت اثرگذاری برای یک عمل بیشتر باشد، آن عامل تأثیر بیشتری بر سایر عوامل داشته و نسبت به سایر عوامل دارای ارجحیت بیشتری است.

۳-۶- تعیین ارزش آستانه[۲۷] و رسم نقشه اثر-ارتباط

به منظور ساده‌سازی و کاهش پیچیدگی در رسم روابط میان عوامل در نقشه اثر-ارتباط[۲۸] (IRM)، مقداری به عنوان ارزش آستانه را محاسبه می‌کنیم. با تعیین این مقدار می‌توان از روابط جزیی صرفنظر کرده و تنها روابط قابل اعتنا را رسم کرد. بنابراین تنها روابطی که مقادیر آنها در ماتریس T از مقدار ارزش آستانه بزرگ‌تر باشند در نقشه اثر-ارتباط نشان داده می‌شوند. در این پژوهش میانگین حسابی مقادیر ماتریس T به عنوان ارزش آستانه درنظر گرفته شده است. برای رسم IRM از دستگاه مختصات دکارتی استفاده می‌کنیم. در این دستگاه مختصاتی، موقعیت هر عامل را به وسیله دو مقدار (c_i+e_j) و (c_i-e_j) برروی محور مختصات X و Y مشخص می‌کنیم. به عبارت دیگر هر عامل دارای مختصات (c_i+e_j,c_i-e_j) می‌باشد.

۳-۷- تحلیل نقشه اثر-ارتباط

برای تحلیل نقشه IRM باید محل قرارگیری عوامل در آن را مورد توجه قرار داد. به عبارت دیگر باید دو مقدار کلیدی شدت تعامل (c_i+e_j) و شدت اثرگذاری (c_i-e_j) را برای هر عامل بررسی کرد. بنابراین، با توجه به تشریح وضعیت عوامل توسط این مقادیر، می‌توان چهار حالت کلی را درنظر گرفت. در ادامه هریک از حالات به اختصار توضیح داده می‌شوند.

الف. اگر $(c_i-e_j)<0$ و $(c_i+e_j)=\varepsilon$ (ε عددی کوچک است) باشد. همانطور که مشخص است، این عامل اثرپذیر بوده و تعامل چندانی با سایر عوامل ندارد و به نوعی مستقل است. درنتیجه این عامل در اولویت قرار نمی‌گیرد. باید از ارتباطات کمی که این عامل با سایر عوامل دارد، استفاده کرد و به وسیله آنها، این عامل را کنترل نمود.

ب. اگر $(c_i-e_j)>0$ و $(c_i+e_j)=\varepsilon$ (ε عددی کوچک است) باشد. این عامل اثرگذار بوده امّا تعامل چندانی با سایر عوامل ندارد. به عبارت دیگر، این عامل مستقل بوده و برروی تعداد کمی از عوامل دیگر اثر می‌گذارد.

ج. اگر $(c_i-e_j)<0$ و $(c_i+e_j)=M$ (M عددی بزرگ است) باشد. این عامل اثرپذیر بوده و تعامل بسیار زیادی با سایر عوامل دارد. درنتیجه این عامل نقش ارتباط‌دهنده را ایفا می‌کند. بنابراین می‌توان از آین عامل برای اعمال نفوذ بر سایر عوامل استفاده کرد.

د. اگر $(c_i-e_j)>0$ و $(c_i+e_j)=M$ (M عددی بزرگ است) باشد. این عامل اثرگذار بوده و تعامل بسیار بالایی با سایر عوامل دارد. این عامل می‌تواند سایر عوامل را تحت نفوذ خود قرارداده و کنترل نماید. به عبارت دیگر، می‌تواند مشکل اصلی مسأله را حل نماید. بنابراین این عامل در اولویت قرار می‌گیرد.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

در این تحقیق برای شناسایی ریسک‌های احداث و بهره‌برداری آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا از روش دلفی استفاده شده و پس از آن، برای تعیین روابط میان آنها از پرسشنامه‌هایی مشتمل بر ۱۳ مقایسه زوجی در پنج گروه استفاده شده است. جدول ۲، عوامل ریسک شناسایی شده را نشان می‌دهد.

با استفاده از عوامل ذکر شده در جدول ۲، ماتریس نظرسنجی تشکیل و نظر نخبگان درخصوص میزان اثرگذاری و اثرپذیری عوامل جمع‌آوری گردید. با استفاده از رابطه (۲)، ماتریس تصمیم‌گیری اولیه محاسبه شد. سپس با نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه با استفاده از روابط (۳) و (۴)، ماتریس اثر اولیه به دست آمد. در ادامه با استفاده از رابطه (۵) ماتریس اثر مستقیم و غیرمستقیم محاسبه شد. در انتها با استفاده از روابط (۶)، (۷)، (۸) و (۹)، میزان اثرگذاری و اثرپذیری عوامل برروی یکدیگر و شدت تعامل و اثرگذاری هر یک از عوامل به دست آمد. جدول ۳، میزان اثرگذاری و اثرپذیری به همراه شدت تعامل و شدت اثرگذاری هر یک از عوامل را نشان می‌دهد.

میانگین حسابی عناصر ماتریس T برابر است با ۰/۰۱۴۶۵، بنابراین هر عاملی که در ماتریس T از این مقدار کم‌تر باشد، در ترسیم نمودار IRM، از رسم روابط میان آنها پرهیز گردیده است. شکل ۴، نمودار IRM یا همان نقشه اثر-ارتباط را نشان می‌دهد.

Table 2- Risk factors for construction and operation of dehumidifiers

جدول ۲- عوامل ریسک احداث و بهره‌برداری آب‌شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا

Symbol	Main criterion	Sub-criteria
F_1	Technical Risks	Improper design of wastewater disposal system and improper disposal of wastewater and waste
F_2		Incompatibility of the device with the conditions of the region
F_3		Large volume of facilities required
F_4		Large-scale technology maturity
F_5	Economic and support Risks	Price changes and inflation
F_6		Incorrect estimation of the construction costs
F_7		Incorrect estimation of the operating costs
F_8		Provide the required energy
F_9	Executive Risk	Choosing the wrong manufacturing technology
F_{10}	Political Risk	Change in administrative tariffs
F_{11}	Environmental Risks	Environmental degradation
F_{12}		Extreme cold
F_{13}		Extreme heat

Table 3- Impact rate, interaction intensity and impact intensity
جدول ۳- میزان اثرگذاری، میزان اثرپذیری، شدت تعامل و شدت اثرگذاری

Symbol	Factor	c_i	e_j	$c_i + e_j$	$c_i - e_j$	Priority
F_1	Improper design of wastewater disposal system and improper disposal of wastewater and waste	0.2067	0.1644	0.3711	0.0423	4
F_2	Incompatibility of the device with the conditions of the region	0.1665	0.2570	0.4235	-0.0905	6
F_3	Large volume of facilities required	0.1568	0.2212	0.3779	-0.0644	7
F_4	Large-scale technology maturity	0.1828	0.1214	0.3041	0.0614	5
F_5	Price changes and inflation	0.2518	0.2417	0.4935	0.0101	2
F_6	Incorrect estimation of the construction costs	0.1970	0.2460	0.4430	-0.0490	8
F_7	Incorrect estimation of the operating costs	0.1458	0.2785	0.4243	-0.1327	12
F_8	Provide the required energy	0.2377	0.3038	0.5415	-0.0661	3
F_9	Choosing the wrong manufacturing technology	0.2803	0.3274	0.6077	-0.0472	1
F_{10}	Change in administrative tariffs	0.1434	0.1194	0.2628	0.0239	10
F_{11}	Environmental degradation	0.1888	0.1556	0.3443	0.0332	9
F_{12}	Extreme cold	0.1633	0.0196	0.1829	0.1438	11
F_{13}	Extreme heat	0.1544	0.0192	0.1736	0.1352	13

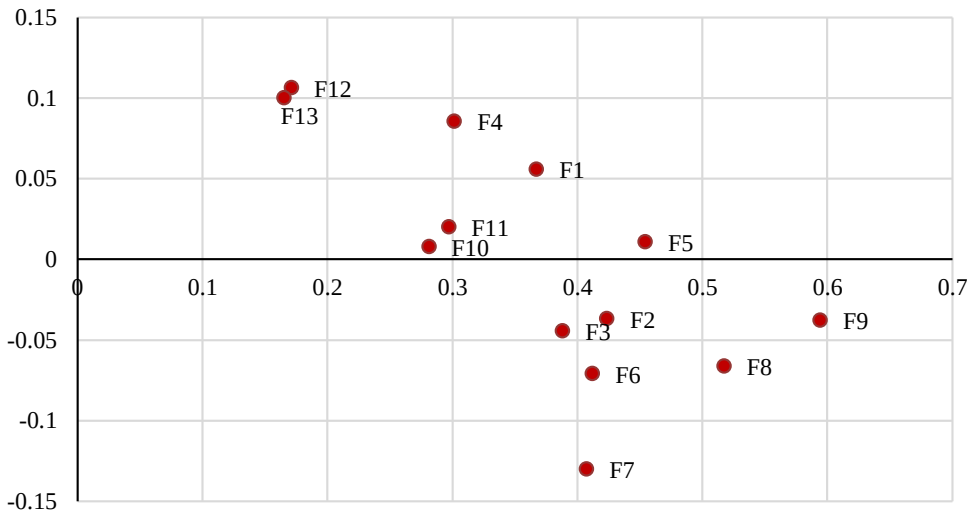

Fig. 4- Impact Relation Map
شکل ۴- نقشه اثر-ارتباط

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود منابع آب شیرین در ایران و بسیاری از مناطق جهان، نیاز به تأمین منابع آب شرب با استفاده از فرآیندهای شیرین‌سازی روبه افزایش است و این در حالی است که تمام فرآیندهای شیرین‌سازی به میزان قابل توجهی انرژی و منابع مالی نیاز دارند. از این رو بررسی اقتصادی فرآیندهای شیرین‌سازی آب، به منظور انتخاب بهینه روش شیرین‌سازی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. در این بین، یکی از موارد بسیار مهم و تأثیرگذار بر ارزیابی اقتصادی روش‌ها، شناسایی و ارزیابی ریسک‌های مربوط به هر یک از فرآیندها می‌باشد.

در این تحقیق در ابتدا تعداد ۳۵ ریسک در مراحل احداث و بهره‌برداری آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن-رطوبت‌زدا شناسایی گردید. پس از آن با کمک روش دلفی و استفاده از نظرات اساتید دانشگاهی و خبرگان، ریسک‌های دارای اهمیت تعیین گردیدند. در ادامه به منظور اولویت‌بندی آنها، از روش دیمتل استفاده شد. با استفاده از روش دیمتل، ۱۳ ریسک که در مرحله قبل دارای اهمیت بیشتری تشخیص داده شده بودند، براساس میزان اثرگذاری و اثرپذیری اولویت‌بندی گردیدند. براساس معیار میزان اثرگذاری، انتخاب تکنولوژی نامناسب ساخت، تغییرات قیمت و ایجاد تورم و تأمین انرژی مورد نیاز، رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص دادند. همچنین، انتخاب تکنولوژی

نامناسب ساخت، تأمین انرژی مورد نیاز و پیش‌بینی نادرست هزینه‌های احداث به ترتیب بیشترین اثرپذیری را دارا هستند.

با بررسی معیارهای شدت تعامل و شدت اثرگذاری، می‌توان ادعا کرد که عوامل تأمین انرژی مورد نیاز و انتخاب تکنولوژی نامناسب ساخت، می‌توانند نقش ارتباط‌دهنده را ایفا کنند. به عبارت دیگر، این عوامل اثرپذیر بوده و دارای شدت تعامل بالایی با سایر عوامل هستند. بنابراین می‌توان با کنترل عوامل اثرگذار برروی این دو عامل، از پیشامد این عوامل و عوامل دارای تعامل با آنها پیشگیری نمود. بنابراین می‌توان به منظور نفوذ و کنترل سایر عوامل از این دو عامل استفاده کرد. عوامل سرمای شدید و گرمای شدید به عنوان عوامل مستقل شناخته می‌شوند؛ زیرا اثرگذار بوده اما دارای روابط چندانی با سایر عوامل نیستند. بنابراین در مراحل مکان‌یابی و جانمایی احداث آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن–رطوبت‌زدا، باید به این عوامل دقت کرد. می‌توان عوامل تغییرات قیمت و ایجاد تورم، طراحی نامناسب سیستم دفع و عدم دفع صحیح پس‌آب و پسماند و بلوغ فناوری در مقیاس بزرگ را به عنوان عوامل اصلی نام برد، زیرا این عوامل اثرگذار بوده و تعامل بالایی با سایر عوامل دارند. بنابراین با پایش مداوم و دقیق این عوامل در مراحل احداث و بهره‌برداری، می‌توان تا حد زیادی از بروز سایر ریسک‌ها در پروژه جلوگیری نمود.

به این ترتیب و با درنظر گرفتن ترتیب رخداد ریسک‌های احداث و بهره‌برداری آب شیرین‌کن‌های رطوبت‌زن–رطوبت‌زدا، بزرگ‌ترین ریسک در به کارگیری این روش، بلوغ فناوری در مقیاس بزرگ می‌باشد. همانگونه که مشخص است، به دلیل نوپا بودن این روش، سطح فناوری موجود برای احداث این دسته از آب شیرین‌کن‌ها در مقیاس‌های بزرگ و صنعتی هنوز کامل نبوده و نیازمند انجام مطالعات بیشتر می‌باشد. همچنین، بررسی روش‌های تأمین مالی به منظور کاهش اثرات ریسک تغییرات قیمت و ایجاد تورم بسیار کاربردی و مهم به نظر می‌آید. مطالعات بسیاری در حوزه تأمین انرژی مورد نیاز آب شیرین‌کن‌ها انجام گردیده که کمکی بسیار بزرگ در مدیریت این عامل و کاهش اثرات منفی آن می‌باشد که به دلیل تازگی این روش، هنوز هم جای مطالعات بسیار دارد. همچنین، بررسی تکنولوژی‌های موجود در حوزه ساخت و دفع پس‌آب و پسماند آب شیرین‌کن‌ها به منظور انتخاب یا جایگزینی روش مناسب، بسیار دارای اهمیت می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1- Project Management
2- Alternatives
3- Reverse Osmosis
4- Semipermeable Membrane
5- Electro Dialysis Reverse
6- Multi Stage Flashing
7- Multiple-Effect Distillation
8- Vapor-Compression Distillation
9- Humidification-Dehumidification
10- Fuzzy Comprehensive Evaluation
11- Analytical Hierarchy Process
12- Coefficient of Performance
13- Gain Output Ratio
14- Monte Carlo Simulation
15- Program Evaluation and Review Technique
16- Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
17- Fontela
18- Gabus
19- DEMATEL
20- Delphi Method
21- Idea Generation
22- Brain Storming
23- Brain Writing
24- Nominal Group Technique
25- Kendall's Coefficient of Concordance
26- Schmidt
27- Threshold Value
28- Impact Relation Map

۶- مراجع

Alkhulaifi Y M, Baata E, Al-Sulaiman F A, Ibrahim N I, & Ben-Mansour R (2021) Performance and exergoeconomic assessment of a novel combined ejector cooling with humidification-dehumidification (HDH) desalination system. Desalination 500(11):4843

Arish A, Akbarpour Shirazi M, Seyed Esfahani MM (2010) Model-based decision support in planning risk responses. International Journal of Engineering and Production Management 20(3):1-14

Darwish S Z & Zubari W K (2020) Strategic risk management (SRM): The future of desalination in the gulf cooperation council (GCC). Academy of Strategic Management Journal 19(2):1-14

Farahat M A, Fath H E, & Ahmed M (2022) A new standalone single effect thermal vapor compression desalination plant with nano-filtration pretreatment. Energy Conversion and Management 252:115095

Faridi Rad F (2021) Reverse osmosis process to purify water for drinking purposes. In:Fourth National Conference on Watershed Management Technology Development and River Engineering, Tehran (In Persian)

Farsad S, Behzadmehr A, Okati W (2018) Solar desalination plants. Avaye Ghalam, Tehran, 135p (In Persian)

Hamzehpour M, Nabavi Fard SM (2019) DEMATEL (Decision Making Trial & Evaluation). University and Higher Institute of National Defense and Strategic Research, Tehran, 166p (In Persian)

Heidarzadeh H, Najafizadeh S (2016) Technical and economic study of HDH, RO, MSF, MED desalination plants. Iranian Journal of Mechanical Engineering 24(6):58-66 (In Persian)

Kasaeian A, Babaei S, Jahanpanah M, Sarrafha H, Alsagri A S, Ghaffarian S, & Yan W M (2019) Solar humidification-dehumidification desalination systems: A critical review. Energy Conversion and Management 201:112129

Kashani T, Ghodsipour SH (2017) Assessing the effects of environmental risks by risk analysis of desalination projects for sustainable development. In:3rd International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges with a Focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tehran (In Persian)

Khoshgoftar Manesh MH, Cheragh H, Tolami M (2019) Thermodynamic, exergoeconomical and exergoenvironmental modeling of MED desalination. Journal of Mechanical Engineering 49(3):127-136 (In Persian)

Koulinas GK, Xanthopoulos AS, Sidas KA, Koulouriotis DE (2021). Risks ranking in a desalination plant construction project with a hybrid AHP, risk matrix, and simulation-based approach. Water Resources Management 35(10):3221-3233

Mashayekhi A, Farhangi AA, Mo'meni M, Ali Dosti S (2005) Investigating the key factors affecting the application of information technology in Iranian government organizations: Application of Delphi method. Journal of Humanities Teacher, Management Specialist 9(3):191-232 (In Persian)

Naseri P, Yosefi O, Nilipoortabatabaei A (2013) Provide a risk assessment project model using a multi-objective decision approach. Industrial Engineering Journal 48(1):125-135

Project Management Institute (2017) A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) (6th ed.). Project Management Institute

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

Razdari MV, Fanaee SA (2021) Comprehensive review of different types of water desalination. Journal of Renewable and New Energy 8(1):21-32 (In Persian)

Yousefvand A, Moazed H, Yousefvand M (2015) Water desalination by electrodialysis. In: National Conference on Environmental Science and Engineering, Ahwaz (In Persian)

Zhang Y, Wang R, Huang P, Wang X, & Wang S (2020) Risk evaluation of large-scale seawater desalination projects based on an integrated fuzzy comprehensive evaluation and analytic hierarchy process method. Desalination 478:114286