Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 6, No. 1, PP. 30-40, Spring 2021
DOI: 10.22112/JWWSE.2020.225823.1204

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال ششم، شماره ۱، صفحات ۳۰-۴۰، بهار ۱۴۰۰

Research Paper

Fuzzy Multi-Criteria Group Decision Making on Water Treatment Methods for a University Complex

Soheil Safari[1*], Mahdi Zarghami[2], Reza Yegani[3] and Mohammad Mosaferi[4]
1- MSc. in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Adjunct Professor, Energy, Water and Enviroenmnt Institute, Sharf University of Technology, and Professor, Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Professor, Faculty of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Sahand, Iran.
4- Professor, Health and Environment Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.
* Corresponding author, Email: soheilssafarii@gmail.com

Received: 03/05/2020
Revised: 08/09/2020
Accepted: 22/09/2020
© IWWA

Abstract

Over the last few years, our country has been facing to the water crisis. Therefore, this is important and necessary to creating a fair balance between available freshwater resources and the amount of demand and consumption in communities. That is why water resources proper management and advanced methods development has an essential role in the supply of freshwater. The purpose of present research is to evaluate the quality of the water in the Qanat of the Tabriz University and provide a suitable purification system for the exploitation of that water in the sports complex of the university to properly water resources management and reduce consumption. For that goal, in the first step, according to the results of qualitative experiments of Qanats water, 18 scenarios were proposed, for comparing and choosing the best candidate, it has been taken four main criteria and 13 sub-criteria. In this study, multi-criteria group decision making, TOPSIS method, and Simple Additive Weighting method (SAW) have been used. Which GFDM software has been used to analyze multi-criteria group decision making. Finally, according to the decision makers' results, the value of each criterion was calculated and analyzed; and it was found that the H scenario was the best choice of the decision makers' point of view was reverse osmosis as a desalination method, sand filter, cartridge filter, and ultra-filter was the best choice for pre-treatment and chlorination.

Keywords: Desalination, water treatment, Multi-criteria decision making, Reverse Osmosis.

مقاله پژوهشی

تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی فازی برای انتخاب روش مناسب تصفیه آب یک مجتمع دانشگاهی

سهیل صفری[۱*]، مهدی ضرغامی[۲]، رضا یگانی[۳] و محمد مسافری[۴]
۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- استاد مدعو پژوهشکده علوم و فناوری‌های انرژی، آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف و استاد دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، سهند، ایران.
۴- استاد مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی، تبریز، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: soheilssafarii@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در سال‌های اخیر، کشور ایران با مشکل جدی بحران آب مواجه بوده است. از این‌رو، ایجاد تعادل بین منابع آب شیرین موجود و میزان تقاضا و مصرف آن در جوامع، از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌همین دلیل مدیریت صحیح منابع آبی و استفاده از روش‌های پیشرفته در تأمین آب شیرین نقش اساسی دارد. هدف از این مطالعه، ارزیابی کیفی آب قنات دانشگاه و ارائهٔ سیستم تصفیهٔ مناسب، برای بهره‌برداری از این آب، در مصارف بهداشتی مجموعه ورزشی دانشگاه تبریز، با هدف مدیریت صحیح منابع آب و کاهش مصرف است. برای این منظور، در گام اول، با توجه به نتایج آزمایش‌های کیفی آب قنات، ۱۸ گزینه پیشنهاد شد. سپس برای مقایسه و انتخاب بهترین گزینه، ۴ معیار اصلی و ۱۳ زیرمعیار درنظر گرفته شد. در این پژوهش از تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ گروهی و دو روش TOPSIS و جمع وزنی ساده، به‌عنوان روش تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین گزینه، استفاده شد. بدین منظور از نرم‌افزار GFDM برای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ گروهی کمک گرفته شد. درنهایت براساس نظر تصمیم‌گیران، وزن هر معیار محاسبه و تحلیل‌های لازم انجام پذیرفت. براساس تحلیل‌های صورت‌گرفته، بهترین گزینه از دیدگاه تصمیم‌گیران گزینه H، شامل اسمز معکوس، به‌عنوان روش نمک‌زدایی، فیلتر شنی، کارتریج فیلتر و اولترا فیلتر به‌عنوان پیش‌تصفیه و کلرزنی برای ضدعفونی معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: نمک‌زدایی، تصفیهٔ آب، اسمز معکوس، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

۱- مقدمه

امروزه نیاز به آب شیرین، به‌دلیل افزایش جمعیت جامعهٔ بشری و ارتقای سطح زندگی مردم، توسعهٔ صنایع و پیشرفت کشاورزی، روزبه‌روز در حال افزایش است. متأسفانه منابع آب شیرین طبیعیِ در دسترس، خیلی کمتر از درخواست جامعه بوده و طبق پیش‌بینی سازمان ملل متحد، تا پایان سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۱/۸میلیارد نفر با مشکل کم‌آبی روبه‌رو خواهند شد (Sharon and Reddy, 2015). ایران نیز از جمله کشورهایی است که در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و علاوه‌بر پایین بودن متوسط بارش سالانه، با پراکنش زمانی و مکانی ناهمگون و نامناسب آن نیز مواجه است. این مسائل به‌طور کلی پتانسیل کم‌آبی و احتمال خشک‌سالی را در ایران افزایش داده و حتی در شرایط عادی نیز در برخی نقاط کشور، به‌ویژه نواحی جنوبی، جنوب شرقی و مرکزی، در زمینهٔ تأمین آب موردنیاز، مشکلات وسیعی را به‌وجود آورده است (افراسیابی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این‌که راه‌حل بسیاری از کمبودهای بخش آب کشور ریشه در اصلاح ساختارهای مدیریت این بخش دارد، در واقع اکثر کشورها بیشتر مشکل بحران مدیریت آب دارند تا کمبود آب (اردکانیان و ضرغامی، ۱۳۸۹)، می‌توان از شیرین‌سازی آب به‌عنوان یک روش برای دستیابی به آب شرب استفاده کرد. این روش توسط کشورهای مختلفی که با کمبود منابع آب روبه‌رو هستند، به‌شدت موردتوجه قرارگرفته است. کشورهای مختلف، بسته به کمیت و کیفیت منابع آبی در دسترس، سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای را انجام داده‌اند. استفاده از روش‌های مختلف شیرین‌سازی آب به موقعیت منطقه‌ای کشورها و میزان انرژی در دسترس آن‌ها بستگی دارد (ملایی و کاظمی نصر آبادی، ۱۳۹۶). شیرین‌سازی از دید افراد مختلف، معانی متفاوتی دارد. اغلب مردم این عبارت را فقط برای شیرین‌سازی آب دریا به‌کار می‌برند و با کاربرد آن، دربارهٔ خارج‌کردن مواد معدنی از آب زیرزمینی، به‌منظور تصفیه و پالایش آب تحت تحلیل اقتصادی برای مصارف آشامیدنی یا صنعتی و نیز احیا و استفادهٔ مجدد از فاضلاب خانگی، آشنایی ندارند.

به‌طورکلی شیرین‌سازی به‌صورت یک روش تصفیهٔ آب که نمک‌های موجود در آب را از آن حذف می‌کند، تعریف می‌شود. امروزه، برخی از کشورها برای تأمین آب شرب خود به روش‌های شیرین‌سازی وابسته هستند. به‌ویژه در خاورمیانه شیرین‌سازی آب دریا یک منبع آب شرب حیاتی و قابل‌اطمینان است. از این گذشته، محتمل است که این روش، در سطح ملی، در خاورمیانه رشد کند (عبدالمجیدی و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به این‌که تصفیهٔ آب از چند مرحله تشکیل می‌شود و هریک از مراحل از تنوع نسبتاً زیادی برخوردار هستند، با درنظرگرفتن معیارهای اقتصادی، فنی، محیط‌زیستی و اجتماعی، برای انتخاب سیستم تصفیهٔ مناسب، برای اعمال تصمیم‌گیری درست، باید از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شود. می‌توان برای پشتیبانی سیستم تصمیم‌گیری و از بین بردن ریسک خطا، از نرم‌افزار GFDM کمک گرفت. این نرم‌افزار به مدیریت تصمیم‌گیران در ارزیابی و سنجش فرآیند تصمیم‌گیری گروهی کمک می‌نماید. در مدل GFDM فرایندها شامل تعیین معیارها، ارزیابی گزینه‌ها و سپس تجمیع، نظرات با استفاده از عبارت‌های زبانی است. به‌عبارتی می‌توان گفت که این نرم‌افزار ابزاری قوی برای مدیران در پشتیبانی تصمیم‌گیری‌های دشوار است. در این پژوهش برای مدیریت صحیح منابع آب، اقدام به انتخاب سیستم تصفیهٔ مناسب شده است که از نظر اقتصادی، فنی، محیط‌زیستی و اجتماعی موردقبول باشد. بدین منظور ۱۸ گزینه پیشنهاد و با کمک‌گرفتن از نرم‌افزار GFDM تحلیل انجام شد تا گزینه ای که بیشترین امتیاز، از نظر تصمیم‌گیران را کسب کرده، مشخص شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محل مطالعه

دانشگاه تبریز دومین دانشگاه قدیمی و یکی از بزرگ‌ترین دانشگاه‌های کشور است که در سال ۱۳۲۸، محوطهٔ این دانشگاه در منطقه‌ای یکپارچه، با سطحی معادل ۲۷۵ هکتار تأسیس شد. این دانشگاه در ناحیهٔ شرقی تبریز قرارگرفته است. درحال‌حاضر این دانشگاه بیش از ۲۱ دانشکده، ۱۰ پژوهشکده و گروه پژوهشی، ۵ قطب علمی، ۸۰۰ عضو هیئت‌علمی، ۲۴۰۰۰ دانشجو، ۱۰۰۰ نفر پرسنل اداری دارد. دانشگاه تبریز دارای دو قنات آب است که مصب آن‌ها در داخل دانشگاه واقع شده است. این قنات‌ها دارای دبی ۳۵ و ۵ لیتر بر ثانیه هستند. این تحقیق بر روی قناتی با دبی ۵ لیتر بر ثانیه انجام شد.

۲-۱-۱- مشکلات آبی محل مورد مطالعه

دانشگاه تبریز هزینهٔ زیادی را برای تأمین آب متحمل می‌شود که قسمت قابل‌توجهی از آن جریمهٔ استفادهٔ بیشتر از حد مجاز است. وجود قنات‌ها در دانشگاه یک موهبت الهی است که در فصل‌های گرم سال برای آبیاری فضای سبز و باغ دانشگاه از آن‌ها استفاده می‌شود. اما مشکل اساسی فصل‌های سرد سال هستند

که نیاز به آبیاری فضای سبز نیست و آب به خارج از دانشگاه هدایت شده و از دسترس خارج می‌شود. این درصورتی است که قسمتی از آب موردنیاز شهر تبریز توسط آب منطقه‌ایِ استان، از کیلومترها دورتر و با هزینهٔ بالا، به این شهر منتقل می‌شود. بیشتر مصرف آب دانشگاه در استخر و خوابگاه‌های دانشگاه، برای استحمام استفاده می‌شود. لذا می‌توان آب مصرفی موردنیاز در این قسمت‌ها را از آب موجود در قنات‌های دانشگاه تأمین کرد.

۲-۲- انواع روش‌های پیش‌تصفیه

- فیلتر کیسه‌ای: فیلتر کیسه‌ای برای حذف ذرات در محدودهٔ ۵ تا ۱۰۰۰ میکرون کاربرد دارد (پیوندی و خانجانی، ۱۳۸۶).

- فیلتر شنی: فیلترهای دانه‌ای شامل موادی مانند ماسهٔ سیلیسی، آنتراسیت وگارنت است. فیلترهای دانه‌ای در بهترین شرایط Silt Density Index ورودی را به مقدار ۳ کاهش می‌دهند (Morenski, 1992)؛

- کارتریج فیلتر: کارتریج فیلتر به‌عنوان آخرین مرحلهٔ پیش‌تصفیهٔ سامانه‌های اسمز معکوس به‌کاربرده می‌شود و ذرات کوچک‌تری را که از فیلتر دانه‌ای عبور کرده است، حذف می‌کند. اندازهٔ منافذ کارتریج فیلتر معمولاً ۱ تا ۲۰ میکرون است که در سامانه‌های اسمز معکوس عمدتاً از نوع ۵ میکرون آن استفاده می‌شود (Elguera and Baez, 2005)؛

- اولترافیلتراسیون: همانند غشاهای میکروفیلتراسیون هستند. اما اندازهٔ حفره‌های آن‌ها در حدود ۰/۰۳ میکرون است. این اندازهٔ تخلخل باعث کارایی بالای این فیلتر می‌شود. اولترافیلتراسیون بین نانوفیلتراسیون و میکروفیلتراسیون در طیف فیلتراسیون قرار دارد و مواد محلول با اندازهٔ ۰/۳۰ میکرون و بزرگتر را حذف می‌کنند.

۲-۳- انواع روش‌های تصفیه و شیرین‌سازی آب‌های شور یا لب‌شور (نمک‌زدایی آب)

روش‌های مختلف نمک‌زدایی را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی بررسی کرد که متداول‌ترین تقسیم‌بندی براساس نوع عملکرد سامانه، شامل فرایندهای حرارتی و غشایی است. فرایندهای نمک‌زداییِ حرارتی نزدیک به ۶۰ سال و فرایندهای نمک‌زداییِ غشایی حدود ۴۰ سال قدمت دارند (میرباقر شمس، ۱۳۹۷). مهم‌ترین روش‌های تصفیهٔ آب‌های شور، براساس نوع فرآیند جداسازی، به دو فرآیند کلیِ تغییر فاز و عبور از غشاء، تقسیم می‌شوند که به شرح زیر هستند:

۲-۳-۱- روش‌های مبتنی‌بر فرآیند تغییر فاز

تقطیرآب هنوز بهترین و مرسوم‌ترین روش شیرین‌سازی آب دریا است. دراین فرآیند از تبخیر آب شور و چگالش آب، آب خالص به‌دست می‌آید. فنآوری غشاء به‌خاطر اطمینان بیشتر و مصرف انرژی کمتر، به‌طور گسترده‌ای، طی ۱۰ سال اخیر گسترش یافته است. فرآیندهای خالص‌سازی آب در روش تقطیر، نسبت‌به فرآیندهای غشایی، دارای کیفیت بالاتری است. روش تقطیر زمانی به‌صرفه است که بخار با انرژی حرارتی پایین، به‌عنوان منبع اصلی انرژی، در دسترس باشد. بنابراین، روش‌های حرارتی درکشورهایی که تأمین انرژیِ حرارتیِ مقرون‌به‌صرفه‌ای ندارند، ممکن نیست وکمتر استفاده می‌شود. ازطرف دیگر، بزرگترین تاسیسات آب شیرین درکشورهای شبه‌جزیرهٔ عرب و یا جاهایی که توان تولید همزمان آب و انرژی را دارند، بر پایهٔ تقطیر است. انواع فرایندهای مبتنی‌بر تبخیر عبارتند از:

- تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای[1]؛
- تقطیر چندمرحله‌ای[2]؛
- تقطیر تراکم بخار[3].

۲-۳-۲- روش‌های مبتنی‌بر فرآیند عبور از غشاء

- روش الکترودیالیز[4]: یک فرایند جداسازی غشایی است که در آن از پتانسیل الکتریکی به‌عنوان نیروی محرکه، برای انتقال یون‌ها، استفاده می‌شود. در این سیستم از غشاهای پلیمری حاوی رزین‌های تبادل یونی استفاده می‌کنند. پرده‌های کاتیونی نسبت‌به کاتیون‌ها تراوا هستند و آنیون‌ها فقط می‌توانند از غشاهای آنیونی عبور کنند. فضای بین دو غشای غیرهمنام، سل نامیده می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۵)؛

- روش اسمز معکوس[5]: اسمز معکوس عالی‌ترین عملکرد را از بین روش‌های غشایی دارد. غشاهای اسمز معکوس فقط اجازهٔ عبور مولکول‌های آب را از خود می‌دهند و تمامی میکرواگانیزم‌ها و عوامل بیماری‌زا را حذف می‌کنند. عملیات حذف نمک‌های محلول، تا مقدار ۹۹درصد امکان‌پذیر است. فشار موردنیاز اسمز معکوس برای شیرین‌سازی آب شور دریا برابر با حدود ۱۴۰۰ psi است (فرجودی و احتشامی، ۱۳۹۵).

با توجه به مطالب بالا و درنظرگرفتن شرایط محل مورد بهره‌برداری، استفاده از روش‌های مبتنی‌بر فرآیند تغییر فاز، توجیه اقتصادی ندارند و در طراحی روش‌ها از آن‌ها استفاده نخواهد شد.

۲-۴- انواع روش‌های گندزدایی

- کلرزنی: از گذشته تاکنون، کلر بیشترین نقش را در ضدعفونی آب ایفا کرده است. کلر باکتری‌ها را تحت یک واکنش

شیمیایی ساده از بین می‌برد. در این واکنش شیمیایی، کلر به اسید هیپوکلرو و یون هیپوکلریت تجزیه شده و از طریق اکسیداسیون شیمیایی جرم‌های میکروبی از جمله باکتری‌ها را غیرفعال می‌کند؛

- آب‌ژاول: رایج‌ترین ماده که از آن به‌عنوان سفیدکننده استفاده می‌شود، آب‌ژاول است. مادهٔ اصلی و مؤثر در آب‌ژاول هیپوکلریت سدیم (NaOCl) است. هیپوکلریت سدیم، ترکیبی فوق‌العاده قوی‌ست که معمولاً درصد کمی از آن (۵ درصد) را در آب محلول کرده و استفاده می‌کنند. مزیت آب‌ژاول این است که خاصیت ضدعفونی‌کننده نیز دارد. زیرا یک سفیدکنندهٔ کلردار است. به‌همین دلیل برای ضدعفونی‌کردن آب نیز از درصد مشخصی از آب‌ژاول استفاده می‌شود؛

- الکترولیز نمک: مواد مصرفی دستگاه الکترولیز، نمک طعام و جریان الکتریسیته است که میزان نمک مصرفی با توجه به حجم آب، به‌صورت هوشمند تنظیم شده و به داخل رآکتور دستگاه کشیده می‌شود و پس از گذراندن الکتریسیته و فرآیند الکترولیز، محصول نهایی از دستگاه خارج و در یک مخزن ذخیره می‌شود و برای گندزداییِ آب شبکه، مخزن یا استخر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛

- ازن: ازن یک گاز معدنی ناپایدار، حاصل از برخورد اتم‌های اکسیژن با مولکول‌های اکسیژن است. ازن یک گندزدای قوی‌ست و مصارف دیگری در تصفیهٔ آب آشامیدنی، از قبیل کنترل طعم و بو، کنترل رنگ و حذف آهن و منگنز، دارد؛

- لامپ UV: تنها روش شناخته‌شدهٔ امروزی که هیچ تغییری در خواص شیمیایی و فیزیکی آب ایجاد نکرده و هیچ‌گونه ماده‌ای به آب اضافه نمی‌کند، ضدعفونی با پرتو فرابنفش است. ضدعفونی نور خورشید مهم‌ترین عامل پاک‌نگه‌دارندهٔ محیط‌زیست است. ضدعفونی مصنوعی با پرتو لامپ UV مشابه اثر نور آفتاب است، با این تفاوت که شدت پرتوافکنی، یعنی مقدار تابش در طول موج مؤثر، تقویت شده و درنتیجه راندمان ضدعفونی بالا می‌رود.

۲-۵- تحلیل چندمعیاره

تصمیم‌گیری گروهی به وضعیتی گفته می‌شود که در آن بیش از یک فرد در فرآیند تصمیم‌گیری نقش دارد. این افراد با نگرش‌ها و انگیزه‌های ویژه‌ای برای حل یک مسئلهٔ مشترک در یک تصمیم جمعی تلاش می‌کنند. در تصمیم‌گیری گروهی هدف رسیدن به راه‌حلی است که بیشترین مقبولیت را در میان تصمیم‌گیران داشته باشد (Lee et al., 2006).

آنالیز تصمیم، علم و هنر طراحی و یا انتخاب بهترین گزینه براساس اهداف و ترجیحات تصمیم‌گیرنده است. تصمیم‌گیری مستلزم آن است که گزینه‌های دیگری نیز برای انتخاب موجود باشد. در چنین مواردی، نیازی نیست تا تمامی گزینه‌های ممکن شناسایی شود، اما لازم است بهترین مورد انتخاب شود که متناسب با اهداف، خواسته‌ها، شیوهٔ زندگی، ارزش‌ها و غیره باشد. به‌عبارت دیگر، تصمیم‌گیری، علم انتخاب است. به‌عنوان مثال، انتخاب بهترین فناوری برای تأمین آب شهری، تدوین راه‌کارهای حفاظت از سیل و یا بهینه‌سازی عملکرد مخزن، همگی از مشکلات تصمیم‌گیری و انتخاب هستند (Zarghami and Szidarovszky, 2011).

- روش جمع وزنی ساده[۶]: این روش ساده‌ترین و پرکاربردترین روش تحلیل چندمعیاره است. در این روش، همهٔ معیارها به یک مقیاس متعارف تبدیل می‌شوند. این مقیاس، معمولاً بین صفر و یک اختیار می‌شود که عدد یک، نمایانگر بهترین عملکرد است. انتخاب گزینه‌ها براساس مقدار S_i است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} w_j} \qquad (۱)$$

که w_j: وزن معیار j ام و r_{ij}: امتیاز نرمال گزینه i ام از دید معیار j ام است که با معادلهٔ (۷) محاسبه می‌شود (صفری و همکاران، ۱۴۰۰).

- روش تاپسیس[۷]

در این روش گزینهٔ انتخابی باید کوتاه‌ترین فاصله از جواب ایده‌آل و بیشترین فاصله از جواب غیرایده‌آل را داشته باشد. مقدار فاصلهٔ هر گزینه با جواب‌های ایده‌آل s_{i^*} و غیرایده‌آل s_{i^-} که به‌ترتیب زیر نشان داده می‌شوند:

$$S_{i^*} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^*)^2} \; for\; i = 1,.2,\cdots,m \qquad (۲)$$

$$S_{i^-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \; for\; i = 1,2,\cdots,m \qquad (۳)$$

که v_{ij}: مقدار نرمال موزون عملکرد گزینهٔ iام از دید معیار jام است. v_j^* و v_j^-: به ترتیب مقدارهای آرمانی و نامطلوب برای معیار jام هستند. رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبهٔ نزدیکی نسبی c_i^* هر گزینه به جواب ایده‌آل به‌دست می‌آید (ضرغامی و احسانی، ۱۳۹۰).

$$C_{i^*} = \frac{S_{i^-}}{S_{i^*} + S_{i^-}}, for\; i = 1,2,\cdots,m \qquad (۴)$$

- محاسبهٔ درجهٔ اجماع: برای محاسبهٔ درجهٔ اجماع ابتدا درجهٔ عدم‌توافق یا شاخص دوریِ نظر هر ذینفع، به ایدهٔ گروهی را مطابق معادله زیر تعریف می‌شود:

$$d_q(C_i) = |IS(C_i) - IGS(C_i)|^p \quad (۵)$$

که $d_q(C_i)$: شاخص دوری ایدهٔ فرد q از ایدهٔ گروه، $IS(C_I)$: مقدار ارزش عددیِ ایدهٔ ذینفع و $IGS(C_i)$: مقدار ارزش عددی ایدهٔ گروه، دربارهٔ اهمیت معیارها هستند.

حال به کمک شاخص فوق درجهٔ اجماع گروه محاسبه می‌شود. در این مطالعه میزان اجماع روی هر معیار با استفاده از معادله (۵) به‌صورت معادله (۶) تعریف می‌شود که اصلاح‌یافتهٔ یکی از سنجه‌های پنج‌گانهٔ معرفی‌شده توسط Kuncheva (1994) است.

$$CGS(C_i) = 1 - \frac{1}{m}\sum_{q=1}^{m} d_q\,(C_i) \quad (۶)$$

که $CGS(C_i)$: میزان اجماع افراد گروه روی معیار i، $d_q(C_i)$: شاخص عدم‌توافق هر ذینفع و m: تعداد ذی‌نفعان هستند.

۲-۵-۱- مراحل انجام تحلیل چندمعیاره با کمک نرم افزار GFDM

دو گروه متخصص ناظر این پژوهش شدند. گروه اول، هفت نفر از مسئولین و استادان دانشگاه هستند که گروه تصمیم‌گیر را تشکیل می‌دهند و برای تکمیل جدول ۳ از نظرات آن‌ها استفاده شد. گروه دوم شامل مجموعه‌ای از متخصصان، استادان، کارشناسان، نویسندگان مقالات و کتاب‌های علمی هستند که متناسب با هریک از بخش‌های هر گزینه، انتخاب شده‌اند و در هر بخش متفاوت هستند، تا امتیاز هر روش در جدول ۲ مشخص شود.

در ابتدا برای انجام تحلیل چندمعیاره با درنظرگرفتن شرایط محل استفاده و خصوصیات روش‌های مختلف اقدام به تعریف ۱۸ گزینه شد. سپس ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شده و امتیاز هر گزینه نسبت به زیرمعیار مشخص‌شده محاسبه شد. برای این‌کار با توجه به این‌که هر گزینه از سه بخش تشکیل شده، امتیاز هر بخش به‌صورت مجزا محاسبه و میانگین سه بخش هر گزینه به‌عنوان امتیاز آن، در زیرمعیار مشخص درنظر گرفته شد. محاسبهٔ امتیاز هر بخش به‌این صورت است که یک امتیاز به‌صورت بیانی از بین گزینه‌های خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، زیاد، نسبتاً زیاد و خیلی زیاد، توسط استادان متخصص، کارشناسان فروشگاه‌های دستگاه‌های تصفیهٔ آب و نویسندگان مقالات و کتاب‌های علمی انتخاب می‌شود. نظر هریک از کارشناسان برای هر بخش مشخص شده و میانگین نظرات، امتیاز آن بخش در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین برای محاسبه در برخی از بخش‌ها امتیازات بیانی به‌صورت عددی، از ۱ تا ۷، درنظر گرفته شد. درضمن، نقدِ مقالات و کتاب‌ها به پرسشنامه انتقال داده شده است.

در مرحلهٔ بعدی قدرت هر تصمیم‌گیر از گروه تصمیم‌گیران متشکل از مدیریت امور فنی و نظارت بر طرح‌های عمرانی دانشگاه، معاونت امور فنی و نظارت بر طرح‌های عمرانی دانشگاه، رئیس اداره تعمیرات و نگهداری تأسیسات دانشگاه، کارشناس آشنا به دستگاه‌های تصفیه عضو پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه، هیئت‌علمی دانشکده مهندسی عمران (مدیریت منابع آب) دانشگاه تبریز، هیئت علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی سهند و هیئت علمی دانشکده بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تبریز، با توجه به مسئولیت، سابقهٔ کاری، تجربه و تحصیلات عالی هر تصمیم‌گیرنده، مشخص شد. سپس نظرات هر تصمیم‌گیر نسبت‌به میزان اهمیت هر زیرمعیار برای تصمیم‌گیری مشخص شد. در نهایت با نظر تصمیم‌گیران و با کمک نرم‌افزار GFDM امتیاز هر گزینه مشخص شد.

برای استفاده از نظر تصمیم‌گیران در نرم‌افزار GFDM، سیستم به‌صورت زیر عمل می‌کند:

الف) تبدیل ورودی‌های بیانی به عددی: بسیاری از تصمیم گیران در ارزیابی گزینه‌ها و معیارها ترجیح می‌دهند که نظرات خود را با عبارات بیانی ارائه کنند. ولی برای انجام محاسبات، نیاز به معادل‌سازی آن‌ها است.

ب) نرمال‌سازی داده‌ها: مقادیر ارزیابی معیارهای مختلف، ابعاد متفاوتی خواهند داشت. برای تجمیع این داده‌ها نیازمند نرمال‌سازی هستیم. البته روش نرمال‌سازی تأثیر بسیار زیادی روی نتایج استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره دارند؛ بنابراین این روش باید یکسان باشد. در این مطالعه از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$\begin{cases} r_{ij} = \dfrac{x_{ij}}{Max\ x_{ij}} & \text{برای معیار مثبت} \\ r_{ij} = \dfrac{Min\ x_{ij}}{x_{ij}} & \text{برای معیار منفی} \end{cases} \quad (۷)$$

۲-۵-۲- نرم‌افزار GFDM

برای ارزیابی و بهینه‌سازی هرچه بهتر گزینه های پیشنهادی،

از نرم‌افزار تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازیِ گروه (GFDM) استفاده شده است. این نرم‌افزار با توجه به تصمیم‌گیری‌های تصمیم‌گیران، ابتدا اقدام به تعیین وزن معیارها کرده و سپس با مقایسهٔ روش‌های ارائه‌شده، براساس روش موجود، نتایج حاصل را، براساس اولویت و اهمیت معیارها، برای تصمیم‌گیران مشخص می‌کند. در این بخش نرم‌افزار از روش‌های TOPSIS و جمع وزنی ساده استفاده کرده است. در واقع ابتدا به کمک یک سیستم هوشمند بین دو روش ذکرشده، انتخاب صورت‌گرفت. این انتخاب با یک قانون اگر-آن‌گاه بوده و به‌صورت ذیل است:

اگر در ماتریس تصمیم‌گیری تعداد گزینه‌ها کمتر از نصف تعداد معیارها باشد، آن‌گاه روش جمع وزنی ساده، به‌خاطر عملکرد بهتر، انتخاب می‌شود. در غیر این‌صورت، از روش TOPSIS برای انجام محاسبات استفاده می‌شود (اردکانیان و ضرغامی، ۱۳۸۹). هم‌چنین، در این پژوهش سعی شده از تصمیم‌گیران متخصص و باتجربه دربخش‌های مرتبط با مطالعهٔ پیش‌رو کمک گرفته شود.

معیارهای اصلی برای تصمیم‌گیری در ۴ معیار اصلی و زیرمعیارها عنوان شده‌اند که از این قرار هستند:

- معیارهای فنی: قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد، میزان آب تولیدی، میزان ملی‌بودن فناوری، فواصل زمانی نیاز به سرویس، نیاز به تکنسین ماهر؛
- معیارهای اقتصادی: هزینهٔ راه‌اندازی، هزینه‌های مصرف انرژی، هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات؛
- معیارهای اجتماعی: میزان مقبولیت عمومی، کیفیت آب شیرین تولیدی؛
- معیارهای محیط زیستی، میزان آلودگی هوا، حفظ سلامت مصرف‌کننده، میزان تولید پساب.

۲-۶- آزمایش‌های کیفی آب قنات

برای انجام آزمایش‌های کیفی، ابتدا با همکاری متخصصان امر از مصب قنات نمونه‌برداری شد. سپس آزمایش‌ها با همکاری متخصصان آزمایشگاه دانشکدهٔ بهداشت دانشگاه علوم‌پزشکی تبریز و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز صورت گرفت که به نتایج آن در جدول ۱ اشاره شده است.

۲-۷- روش‌ها

با توجه به روش‌های مختلف پیش‌تصفیه، نمک‌زدایی و گندزدایی با درنظرگرفتن نتایج آزمایش‌های کیفی و هم‌چنین شرایط و امکانات محل مورد استفاده، اقدام به انتخاب روش‌های مناسب در قالب ۱۸ گزینه در جدول ۱ شد.

جدول ۱- روش‌های انتخاب‌شده برای انتخاب سیستم تصفیهٔ مناسب

روش‌های ضدعفونی	روش‌های شیرین‌سازی	سیستم‌های پیش‌تصفیه	Scenarios
آب‌ژاول	RO	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	Scenario A
کلرزنی	RO	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	Scenario B
ازن	RO	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	Scenario C
آب‌ژاول	RO	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	Scenario D
کلرزنی	RO	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	Scenario E
ازن	RO	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	Scenario F
آب‌ژاول	RO	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	Scenario G
کلرزنی	RO	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	Scenario H
ازن	RO	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	Scenario I
آب‌ژاول	ED	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	Scenario J
کلرزنی	ED	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	Scenario K
ازن	ED	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	Scenario L
آب‌ژاول	ED	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	Scenario M
کلرزنی	ED	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	Scenario N
ازن	ED	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	Scenario O
آب ژاول	ED	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	Scenario P
کلرزنی	ED	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	Scenario Q
ازن	ED	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	Scenario R

در سیستم تصفیهٔ اصلی به‌دلیل لب‌شور بودن آب و مکان بهره‌برداری، تنها گزینه‌های مبتنی بر عبور از غشا قابل‌استفاده

بودند. هم‌چنین در انتخاب گزینه‌های ضدعفونی به‌دلیل اهمیت بالای زمان ماند از بین روش‌های موجود، سه روش زیر مدنظر گرفته شد که در نهایت، با مقایسهٔ روش‌های موردنظر با کمک نرم‌افزار GFDM مناسب‌ترین سیستم تصفیه انتخاب شد.

۲-۸- تنظیمات نرم‌افزار GFDM

در جدول ۲، ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل یافته و روش‌ها (گزینه‌ها) و مقادیر هر معیار برای تمامی گزینه‌ها وارد شده است. مقادیر واردشده به نرم‌افزار، براساس تحقیقات در منابع علمی معتبر و نظر اساتید متخصص و متخصصان شرکت‌های فروشندهٔ مربوطه انجام‌گرفته است. چون هر گزینه از سه قسمت (پیش‌تصفیه، تصفیهٔ اصلی و ضدعفونی) تشکیل شده است، نظرات برای هر قسمت به‌صورت مجزا به‌دست آمده است. برای انجام این‌کار، ابتدا نظرات موجود برای یک قسمت تهیه و سپس میانگین نظرات امتیاز آن قسمت درنظر گرفته شده و میانگین امتیاز در سه قسمت هر گزینه به‌عنوان امتیاز آن گزینه درنظر گرفته شد. این امتیازها به دوصورتِ عدد قطعی و بیانی، ثبت شده است.

در شاخص‌های فواصل زمانی نیاز به سرویس، میزان آب تولیدی، میزان ملی‌بودن فناوری، نیاز به تکنسین ماهر، میزان تولید پساب شور، میزان آلودگی هوا، نظرات برای هر گزینه به‌صورت بیانی نوشته شده‌اند. هم‌چنین زیرمعیارهایی که تأثیر منفی بر ارزیابی دارند، با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. تأثیر منفی بدین معنی است که افزایش مقدار آن‌ها سبب کاهش مطلوبیت آن معیار می‌شود. لذا با تغییر نحوهٔ محاسبهٔ آن به ارائهٔ ماتریس مذکور پرداخته شد. در جدول ۳، نیز نظر هر تصمیم‌گیرنده برای هر معیار و همچنین وزن هر تصمیم‌گیرنده، به‌صورت مقادیر بیانی آورده شده است (نام تصمیم‌گیران به‌صورت حروف الفبای انگلیسی آمده است). با توجه به مسئولیت، سابقهٔ کاری، تجربه و تحصیلات عالی هر تصمیم‌گیرنده، وزن هر تصمیم‌گیرنده عنوان شده است.

۳- نتایج و مباحث

در جدول ۴ نتایج آزمایشات کیفی و مقایسه آن با استاندارد ملی کشور، سازمان بهداشت جهانی و کمیسیون اروپا نوشته شده است. با توجه به جدول زیر، میزان کل مواد جامد محلول، سختی، کلرور، سولفات، سدیم، و منیزیم در آب قنات، بیشتر از حد استاندارد است و آب برای استفاده در مصارف بهداشتی نیاز به نمک‌زدایی دارد.

انتخاب هر معیار نیازمند تعریف یک درجهٔ اجماع است. این درجهٔ اجماع نشان‌دهندهٔ آن است که معیارهایی در ارزیابی گزینه‌ها دخیل باشد که وزن آن‌ها حداقل درجهٔ اجماع را از دید افراد گروه داشته باشد. در واقع درجهٔ اجماع، نشان‌دهندهٔ اهمیت هر معیار برای تصمیم‌گیران است. با توجه به این‌که درجهٔ اجماع متوسط انتخاب شده و تمامی گزینه‌ها از مقدار متوسط بیشتر هستند، لذا معیاری حذف نشده است. با توجه به جدول ۵، به‌نظر می‌رسد که انتخاب معیارها و زیرمعیارها به‌صورت مناسبی شکل گرفته و از نظر تصمیم‌گیران مهم و برای ارزیابی تحقیق پیش رو مؤثر هستند.

درجهٔ اجماع تصمیم‌گیران نیز نشان‌دهندهٔ نزدیک‌بودن نظرات هر تصمیم‌گیرنده با نظرات گروه تصمیم‌گیری است. بدین معنی که هرکسی امتیاز بالاتری داشته باشد، نظراتش به گروه تصمیم‌گیری نزدیک‌تر است و بالعکس. باتوجه به جدول ۶ به‌نظر می‌رسد نظرات تصمیم‌گیر C و تصمیم‌گیر D به‌ترتیب بیشترین مطابقت را با نظرات تصمیم‌گیرندهٔ گروه داشته باشند. هرچقدر این مقادیر به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهندهٔ آن است که نظرات تصمیم‌گیران به یکدیگر نزدیک است و اتفاق‌نظر مناسبی وجود دارد. اما با توجه به این‌که در پژوهش پیش‌رو از تصمیم‌گیرانی در حوزه‌های مختلف نظرسنجی صورت گرفته است، به‌نظر می‌رسد، نظرات بعضی از آن‌ها متفاوت از سایرین بوده و سبب اختلاف در درجهٔ اجماع شده است.

نتایج تحلیل، در جدول ۷ مشخص شده است. این نتایج حاکی از آن است که گزینه H، برترین گزینه، براساس نظرات تصمیم‌گیران است که با بیشتر تحقیقات علمی در این زمینه هم‌خوانی دارد. اسمز معکوس به‌عنوان تصفیهٔ اصلی امتیاز بیشتری را نسبت به الکترودیالیز کسب کرده است. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد هرچقدر از پیش‌تصفیهٔ مورد اعتمادتری استفاده شود، در کیفیت و کمیت آب تولیدی، هم‌چنین افزایش عمر سیستم اصلی تصفیه، تأثیر فراوانی دارد که موجب کاهش هزینه‌های تولید آب می‌شود. گفتنی است که کلرزنی به‌دلیل قدرت گندزدایی و زمان ماندگاری مناسب و هم‌چنین قیمت و سهولت استفاده، مدنظر قرارگرفته شده و امتیاز بیشتری از بقیهٔ روش‌های ضدعفونی کسب کرده است. با دقت بیشتر در نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود ۳ گزینه‌ای که امتیاز بیشتری کسب کرده‌اند، دارای سیستم شیرین‌سازی (RO)، در رتبهٔ چهارم تا ششم و دارای سیستم شیرین‌سازی (ED) هستند که اختلاف امتیاز کمی با گزینه‌های برتر دارند.

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل داده شده در نرم‌افزار GFDM برای انتخاب مناسب‌ترین روش

ردیف	نام شاخص	هزینه های مصرف انرژی	هزینه سرمایه گذاری	هزینه های بهره برداری و تعمیرات	فواصل زمانی نیاز به سرویس	کیفیت آب شیرین تولیدی	قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد	میزان آب تولیدی	میزان ملی بودن فناوری	نیاز به تکنسین ماهر	میزان تولید پساب شور	حفظ سلامت مصرف کننده	میزان آلودگی هوا	میزان مقبولیت عمومی
	نوع داده شاخص	قطعی	قطعی	قطعی	بیانی	قطعی	قطعی	بیانی	بیانی	بیانی	بیانی	قطعی	بیانی	قطعی
	وزن شاخص	۰.۰ /۴۱۹۴W	۰.۰ /۵۹۵۳W	۰.۰ /۶۲۱۹W	۰.۰ /۶۰۳۱W	۰.۰ /۵۸۷۳W	۰.۰ /۶۵۸۵W	۰.۰ /۵۸۲۱W	۰.۰ /۵۲۳۵W	۰.۰ /۴۹۴W	۰.۰ /۴۶۵۴W	۰.۰ /۶۸۰۸W	۰.۰ /۴۹۹۶W	۰.۰ /۶۴۱۴W
۱	Scenario A	m:۴/۳۳	m:۴/۶۶	m:۴/۳۳	نسبتاً زیاد	m:۵/۳۳	m:۵/۳۳	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	m:۵/۳۳	زیاد	m:۵/۳۳
۲	Scenario B	m:۴/۶۶	m:۵	m:۴/۶۶	نسبتاً زیاد	m:۵/۶۶	m: ۶	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	m: ۶	زیاد	m: ۶
۳	Scenario C	m:۵	m:۵/۶۶	m:۵	نسبتاً زیاد	m: ۶	m:۵/۶۶	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	m:۵/۶۶	زیاد	m:۵/۶۶
۴	Scenario D	m:۴/۶۶	m:۵/۳۳	m:۴/۱۶	زیاد	m:۵/۶۶	m:۵/۶۶	زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	m:۵/۶۶	زیاد	m:۵/۶۶
۵	Scenario E	m:۵	m:۵/۶۶	m:۴/۵	زیاد	m: ۶	m:۶/۳۳	زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	m:۶/۳۳	زیاد	m:۶/۳۳
۶	Scenario F	m:۵/۳۳	m:۶/۳۳	m:۴/۸۳	زیاد	m:۶/۳۳	m: ۶	زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	m: ۶	زیاد	m: ۶
۷	Scenario G	m:۵	m:۵/۶۶	m:۴	خیلی زیاد	m: ۶	m: ۶	خیلی زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	m: ۶	زیاد	m: ۶
۸	Scenario H	m:۵/۳۳	m: ۶	m:۴/۳۳	خیلی زیاد	m:۶/۳۳	m:۶/۶۶	خیلی زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	m:۶/۶۶	زیاد	m:۶/۶۶
۹	Scenario I	m:۵	m:۶/۶۶	m:۴/۶۶	خیلی زیاد	m:۶/۶۶	m:۶/۳۳	خیلی زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	m:۶/۳۳	زیاد	m:۶/۳۳
۱۰	Scenario J	m:۴	m:۴	m:۴/۶۶	متوسط	m: ۵	m: ۵	متوسط	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	m: ۵	نسبتاً کم	m: ۵
۱۱	Scenario K	m:۴/۳۳	m:۴/۳۳	m:۵	متوسط	m:۵/۳۳	m:۵/۶۶	متوسط	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	m:۵/۶۶	نسبتاً کم	m:۵/۶۶
۱۲	Scenario L	m:۴/۶۶	m:۵	m:۵/۳۳	متوسط	m:۵/۶۶	m:۵/۳۳	متوسط	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	m:۵/۳۳	نسبتاً کم	m:۵/۳۳
۱۳	Scenario M	m:۴/۳۳	m:۵	m:۴/۵	نسبتاً زیاد	m:۵/۳۳	m:۵/۳۳	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	m:۵/۳۳	نسبتاً کم	m:۵/۳۳
۱۴	Scenario N	m:۴/۶۶	m:۵/۳۳	m:۴/۸۳	نسبتاً زیاد	m:۵/۶۶	m: ۶	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	m: ۶	نسبتاً کم	m: ۶
۱۵	Scenario O	m:۵	m: ۵	m:۵/۱۶	نسبتاً زیاد	m: ۶	m:۵/۶۶	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	m:۵/۶۶	نسبتاً کم	m:۵/۶۶
۱۶	Scenario P	m:۴/۶۶	m:۵/۳۳	m:۴/۳۳	زیاد	m:۵/۶۶	m:۵/۶۶	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	کم	m:۵/۶۶	نسبتاً کم	m:۵/۶۶
۱۷	Scenario Q	m: ۵	m:۵/۶۶	m:۴/۶۶	زیاد	m: ۶	m:۶/۶۶	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	کم	m:۶/۳۳	نسبتاً کم	m:۶/۳۳
۱۸	Scenario R	m:۵/۳۳	m:۶/۳۳	m: ۵	زیاد	m:۶/۳۳	m:۶/۳۳	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	کم	m: ۶	نسبتاً کم	m: ۶

جدول ۳- نظرات تصمیم‌گیران و وزن هریک

ردیف	نام تصمیم‌گیر	A	B	C	D	E	F	G
	قدرت تصمیم گیر	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط	زیاد	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد
۱	هزینه‌های مصرف انرژی	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	کم	نسبتاً زیاد	کم	کم	نسبتاً کم
۲	هزینهٔ سرمایه‌گذاری	متوسط	زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد
۳	هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
۴	فواصل زمانی نیاز به سرویس	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد
۵	کیفیت آب شیرین تولیدی	خیلی زیاد	نسبتاً کم	متوسط	زیاد	نسبتاً کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد
۶	قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد	خیلی زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
۷	میزان آب تولیدی	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد
۸	میزان ملی‌بودن فناوری	متوسط	زیاد	متوسط	خیلی کم	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد
۹	نیاز به تکنسین ماهر	متوسط	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد
۱۰	میزان تولید پساب شور	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد
۱۱	حفظ سلامت مصرف‌کننده	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
۱۲	میزان آلودگی هوا	زیاد	کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط
۱۳	میزان مقبولیت عمومی	خیلی زیاد	متوسط	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد

جدول ۴- مقایسهٔ کیفیت آب قنات با استانداردهای موجود

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار در نمونه	استاندارد ملی کشور		استاندارد WHO*		استاندارد EC**	
				حد مطلوب	حد مجاز	حد مطلوب	حد مجاز	حد مطلوب	حد مجاز
۱	pH		۷/۵	۸/۵-۶/۵	۹/۰-۶/۵	۷/۲	۷/۸	۷/۲	۸
۲	کل مواد جامد محلول (TDS)	mg/L	۲۶۰۴	۵۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰	۱۰۰۰	–	۱۵۰۰
۳	کدورت	NTU	۱/۵	کمتر یا مساوی ۱	۵	۱	کمتر از ۵	کمتر از ۱	–
۴	سختی کل	mg/L	۱۲۴۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۵۰۰	–	–
۵	کلرور	mg/L	۵۱۰	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	–	۲۵۰	–
۶	سولفات	mg/L	۸۱۹	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	–	۲۵۰	–
۷	سدیم	mg/L	۳۶۲	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	–
۸	کلسیم	mg/L	۱۶۰	–	–	۳۰۰	–	–	–
۹	منیزیم	mg/L	۲۰۴	۳۰	–	–	–	–	–
۱۰	پتاسیم	mg/L	۱۹	–	۱۲	–	–	–	–
۱۱	بی‌کربنات	mg/L	۴۳۹	–	–	–	–	–	–
۱۲	نیترات	mg/L	۲۷	–	۵۰	–	۵۰	–	۵۰

* World Health Organization (WHO); ** European Communities (EC)

جدول ۵- درجهٔ اجماع معیارها

ردیف	نام شاخص	درجهٔ اجماع
۱	هزینه‌های مصرف انرژی	C:۷۵/۷۹
۲	هزینهٔ سرمایه‌گذاری	C:۸۵/۷۳
۳	هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات	C:۸۵/۴۹
۴	فواصل زمانی نیاز به سرویس	C:۸۵/۴۹
۵	کیفیت آب شیرین تولیدی	C:۷۴/۴۶
۶	قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد	C:۸۴/۰۵
۷	میزان آب تولیدی	C:۸۲/۲۴
۸	میزان ملی‌بودن فناوری	C:۸۱/۴۱
۹	نیاز به تکنسین ماهر	C:۸۶/۷۱
۱۰	میزان تولید پساب شور	C:۸۶/۸۱
۱۱	حفظ سلامت مصرف‌کننده	C:۸۶/۵۱
۱۲	میزان آلودگی هوا	C:۸۲/۸۳
C:۷۷/۴۹	میزان مقبولیت عمومی	

جدول ۶- درجهٔ اجماع تصمیم‌گیران

ردیف	نام تصمیم‌گیر	درجهٔ اجماع
۱	A	C:۷۸/۳۴
۲	B	C:۸۳/۵۹
۳	C	C:۹۰/۰۸
۴	D	C:۸۵/۸۹
۵	E	C:۷۸/۹۱
۶	F	C:۷۸/۷۲
۷	G	C:۸۳/۳۳

جدول ۷- جدول امتیازدهی گزینه‌ها

ردیف	نام گزینه	امتیاز
۱	Scenario H	۶۶/۰۹
۲	Scenario G	۶۵/۱۰
۳	Scenario I	۶۱/۳۲
۴	Scenario Q	۵۸/۷۲
۵	Scenario P	۵۶/۴۳
۶	Scenario R	۵۴/۹۰
۷	Scenario E	۵۳/۲۸
۸	Scenario D	۵۰/۷۴
۹	Scenario F	۴۸/۵۱
۱۰	Scenario B	۴۵/۹۱
۱۱	Scenario N	۴۴/۲۲
۱۲	Scenario A	۴۴/۲۲
۱۳	Scenario M	۴۲/۱۵
۱۴	Scenario C	۴۲/۰۲
۱۵	Scenario O	۳۹/۷۷
۱۶	Scenario K	۳۸/۱۳
۱۷	Scenario J	۳۷/۴۵
۱۸	Scenario L	۳۳/۱۱

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق مدیریت صحیح منابع آب (قنات‌ها) موجود در دانشگاه و استفاده در مصارف بهداشتی، پس از تصفیهٔ مناسب است. برای این منظور ابتدا میزان کمیت آب قنات محاسبه شد. سپس برای مشخص‌شدن کیفیت آب موجود، آزمایشات کیفی آب انجام گرفت. برای تصفیهٔ آب به یک سیستم تصفیهٔ مناسب، شامل پیش‌تصفیه، تصفیهٔ اصلی (شیرین‌سازی) و ضدعفونی نیاز است. با درنظرگرفتن گزینه‌های مختلف موجود در هر مرحله، برای انتخاب سیستم مناسب تصفیه، با توجه به شرایط مکانی داخل دانشگاه، اقدام به محدودکردن این گزینه‌ها شد. سپس ۱۸ گزینه پیشنهاد و برای مقایسه و انتخاب بهترین گزینه، ۴ معیار اصلی شامل معیارهای اقتصادی، فنی، محیط‌زیستی و اجتماعی و ۱۳ زیرمعیار درنظر گرفته شد. سپس با بهره‌گیری از نظرات مسئولین و متخصصان به‌کمک نرم‌افزار GFDM مناسب‌ترین گزینه (سیستم تصفیه) انتخاب شد. گزینه H از دیدگاه تصمیم‌گیران بیشترین امتیاز را کسب کرد که شامل پیش‌تصفیهٔ فیلتر شنی، کارتریج فیلتر و اولترا فیلتر، روش شیرین‌سازی اسمز معکوس (RO) و روش ضدعفونی کلرزنی است. هم‌چنین با درنظرگرفتن این امر که سیستم پیش‌تصفیهٔ مناسب، یکی از کلیدهای اساسی کارایی موفقیت‌آمیز و اقتصادی یک سیستم نمک‌زدایی، مبتنی‌بر عبور از غشا است، سیستم تصفیهٔ اولیه برای جلوگیری یا کم‌کردن گرفتگی غشایی، پدیدهٔ رسوب و کاهش کارایی غشاء و مواد طراحی‌شده است.

اگر سیستم نمک‌زدایی مبتنی‌بر عبور از غشا، دارای سیستم پیش‌تصفیهٔ مناسب نباشد، سبب بروز دوره‌های شستشوی مکرر و به‌تبع آن کاهش عمر غشا می‌شود. از این‌رو به‌نظر می‌رسد هرچقدر پیش‌تصفیه مورداعتمادتری استفاده شود، در کیفیت و کمیت آب تولیدی و افزایش عمر سیستم اصلی تصفیه، تأثیر فراوانی دارد که موجب کاهش هزینه‌های تولید آب می‌شود. هم‌چنین کلرزنی به‌دلیل قدرت گندزدایی، ماندگاریِ مناسب، قیمت و سهولت استفاده، مدنظر گرفته شد و امتیاز بیشتری از بقیهٔ گزینه های ضدعفونی کسب کرد. در این گزینه برای انتخاب سیستم تصفیه نظر مسئولین و متخصصان به‌صورت مستقیم اعمال شد که می‌تواند باعث افزایش رضایت مصرف‌کننده و افزایش کارایی مطابق با محل استفاده شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Multi stage flash distillation (MSF)
2- Multi effect distillation (MED)
3- Vapor compression desalination (VC)
4- Electro-dialysis (ED)
5- Reverse osmosis (RO)
6- Simple AdditiveWeighting (SAW)
7- Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

۶- مراجع

اردکانیان، ر.، و ضرغامی، م.، (۱۳۸۹)، *مدیریت طرح‌های توسعهٔ منابع آب*، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی.

افراسیابی، ن.، احتشامی، م.، و اردکانیان، ر.، (۱۳۸۷)، "طراحی بهینهٔ سیستم تصفیهٔ آب با روش اسمز معکوس توسط مدل ROSA"، *دومین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست*، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران.

صالحی، س.، خانجانی، م.، و بارانی، غ.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی اقتصادی تکنولوژی‌های مختلف آب شیرین‌کن"، *کنفرانس بین‌المللی توسعهٔ پایدار، راه‌کارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری*، دانشگاه تبریز، تبریز.

صفری، س.، ضرغامی، م.، یگانی، ر.، و مسافری، م.، (۱۴۰۰)، "طراحی و ارزیابی چند معیاره سیستمهای نمکزدایی اسمزمعکوس، مطالعه موردی: قنات دانشگاه تبریز"، *مجله آب و فاضلاب*، (در انتظار چاپ).

ضرغامی، م.، و احسانی، ا.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب طرح‌های انتقال آب به حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه"، *تحقیقات منابع آب ایران*،۷(۲)، ۱- ۱۴.

عبدالمجیدی، ح.، حسام، م.، هزارجریبی، ا.، و دهقانی، ا.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی اقتصادی شیرین‌سازی آب دریای خزر به‌روش اسمز معکوس، جهت مصرف شرب استان گلستان"، *کنفرانس ملی بهره‌برداری از آب دریا*، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان.

فرجودی خ.، و احتشامی م.، (۱۳۹۵)، "مروری بر روش‌های نوین شیرین‌سازی آب و مقایسهٔ آن‌ها"، *سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست*، مرکز راه‌کارهای دستیابی به توسعهٔ پایدار موسسهٔ آموزش عالی مهر اروند، تهران.

میرباقر، س.، و شمس ا.، (۱۳۸۷)، "امکان‌سنجی استفاده از فن‌آوری اسمز معکوس در تصفیهٔ آب‌های لب‌شور، جهت تأمین آب شرب شهری در کشور"، *چهارمین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران*، دانشگاه تهران، تهران.

ملایی، س.، و نصرآبادی، م.، (۱۳۹۶)، "طراحی بهینه، سیستم تصفیهٔ آب به کمک نرم‌افزار ROSA"، *اولین کنفرانس تخصصی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست پایدار*، شیروان.

Elguera, A.M., and Ba´ez, S.O.P., (2005), "Development of themost adequatepre-treatment for high capacity seawater desalination plantswith open intake", *Desalination*, 184(1-3), 173-183.

Ede, A., (2006), *The chemical element, A historical perspective*, Greenwood Press, USA.

Lee, J., Ruan, D., Zhang, G., and Wu, F., (2006). *Multi-objective group decision making methodos, software and applications with fuzzy set techniques*, Imperial College Press.

Morenski, F., (1992)," Current pretreatment requirements forreverse osmosis membraneapplications", *Official Proceedings of the 53rd International Water Conference*, pp. 325-330, Pittsburgh, PA, USA, 19-21 October.

Sharon, H., and Reddy, K.S., (2015), "A review of solar energy driven desalination technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080-1118.

Zarghami, M., and Szidarovszky, F., (2011), *Multicriteria analysis: Applications to water and environment management*, Springer Science & Business Media.

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