Archive of SID

Original Paper

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692

Jouranl of Water and Wastewater, Vol. 30, No.4, pp: 1-15

Tehran's Drinking Water Supply Management in Pre Crisis Situations Using the Fuzzy PROMETHEE II Method

M. Ghandi [1], A. Roozbahani [2]

1. MSc Student of Water Resources Engineering, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran
(Corresponding Author) roozbahany@ut.ac.ir

(Received May 27, 2018 Accepted Aug. 29, 2018)

To cite this article :
Ghandi, M., Roozbahani, A., 2019, "Tehran's drinking water supply management in pre crisis situations using the fuzzy PROMETHEE II method." Journal of Water and Wastewater, 30(4), 1-15.
Doi: 10.22093/wwj.2018.133679.2692. (In Persian)

Abstract

Water crisis and its management techniques in urban water supply systems is a crucial issue. Many different natural and unnatural disasters, including earthquake and terrorist attacks, cause the greatest damages to these systems. Before the crises occur, Prioritizing effective strategies by experts can greatly reduce these damages. In this study, Fuzzy PROMTHEE II method has been used for the ranking of Tehran City's water supply risk management scenarios including prevention and preparedness in pre-crisis conditions, with consideration of experts' opinions in Tehran Province Water & Wastewater Company. Due to the uncertainties in experts' opinions and parameters required for urban water supply risk management, fuzzy theory is applied. The results show that the reliability of the water supply and cost of project implementation criteria have the highest importance, respectively. By ranking of scenarios, it was found that measures such as strengthening passive defense in supply and distribution systems, and consumption management and encouraging people to save the emergency water as well as contract with the companies producing water packaging with score of 0.192, 0.176 and 0.132, have the highest ranks among actions before the crisis, respectively. The proposed decision-making model can help decision makers to prioritize drinking water supply scenarios under the emergency conditions.

Keywords: Risk Management, PROMETHEE II, Drinking Water Supply, Fuzzy Theory, Water Crisis.

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۴، صفحه: ۱۵-۱

مدیریت تأمین آب شرب شهر تهران در شرایط پیش از بحران با استفاده از روش PROMETHEE II فازی

مهسا قندی[۱]، عباس روزبهانی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(نویسنده مسئول) roozbahany@ut.ac.ir

(دریافت ۹۷/۳/۶ پذیرش ۹۷/۶/۷)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
قندی، م.، روزبهانی، ع.، ۱۳۹۸، " مدیریت تأمین آب شرب شهر تهران در شرایط پیش از بحران با استفاده از روش PROMETHEE II فازی "
مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۴)، ۱۵-۱. Doi: 10.22093/wwj.2018.133679.2692

چکیده

بحران آب و روش‌های مدیریت آن در سیستم‌های تأمین آب شهری موضوعی حائز اهمیت است. در خطرات طبیعی و غیرطبیعی مختلفی مانند زلزله و حملات تروریستی، بیشترین آسیب به سیستم‌های تأمین آب شهری وارد می‌شود. اولویت‌بندی راهکارهای مؤثر توسط تصمیم‌گیرندگان متخصص قبل از وقوع این بحران‌ها تا حد زیادی این آسیب را کاهش می‌دهد. در این پژوهش از روش تصمیم‌گیری چند معیاره PROMTHEE II با رویکرد فازی و با تجمیع و در نظر گرفتن نظرات کارشناسان و مدیران تأمین و تصفیه شرکت آب و فاضلاب استان تهران برای رتبه‌بندی سناریوهای مدیریت ریسک تأمین آب شرب شهر تهران شامل پیشگیری و آمادگی برای شرایط قبل از بحران استفاده شد. به‌دلیل عدم قطعیت‌های موجود در نظرات کارشناسی و پارامترهای مورد نیاز برای مدیریت ریسک تأمین آب شهری، تئوری فازی به‌کار گرفته شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که معیار قابلیت اطمینان تأمین مقدار آب و پس از آن هزینه اجرای طرح به‌ترتیب بیشترین وزن را در سناریوها به خود اختصاص دادند. با رتبه‌بندی سناریوها مشخص شد اقداماتی مانند تقویت پدافند غیر عامل در سیستم‌های تأمین و توزیع و مدیریت مصرف و ایجاد فرهنگ صرفه‌جویی و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری و قرارداد با شرکت‌های تولید آب بسته‌بندی، به‌ترتیب با امتیاز ۰/۱۹۲، ۰/۱۷۶ و ۰/۱۳۲ بالاترین اولویت را در اقدامات پیش از بحران دارند. مدل تصمیم‌گیری ارائه شده می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در اولویت‌بندی سناریوهای تأمین آب شرب در شرایط اضطرار کمک کند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت ریسک، PROMETHEE II ، تأمین آب شرب، تئوری فازی، بحران آب

۱- مقدمه

از عمده‌ترین مشکلاتی که در شرایط اضطراری مردم با آن مواجه می‌شوند مشکل کمیّت و کیفیت نامطلوب آب است. شرایط اضطراری رویداد برنامه‌ریزی نشده‌ای است که در اثر آن افراد، تأسیسات و محیط زیست در معرض خطر جدی قرار می‌گیرند (Ezaryan, 2017). این وضعیت اغلب در نتیجه عوامل خارجی نظیر رعد و برق، سیل، طوفان، زلزله و جنگ و غیره است. معمولاً برای مقابله با بحران سناریویی تهیه می‌شود که این سناریو برنامه‌ای از پیش تعیین شده است که در آن اتفاق اولیه، محدوده گسترش، پیامدها و نیز اقدامات لازم برای مقابله با یک وضعیت اضطراری فرضی تعیین می‌شود. این سناریوها به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱- فاز قبل از بحران (مدیریت ریسک) ۲- فاز حین بحران ۳- فاز پس از بحران. در هر فاز باید معیار و سناریوهایی برای کنترل

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

بحران تأمین آب شرب تعیین شود. تعیین این سناریوها به عهده تصمیم‌گیرنده یا تصمیم‌گیرندگان است، که در این پژوهش فقط سناریوهای فاز قبل از بحران بررسی می‌شود. در این فاز تمام تمهیدات لازم برای تهیه و توزیع آب آشامیدنی در زمان بحران مورد توجه قرار می‌گیرد (Ezaryan, 2017).

در پژوهش‌های گذشته در زمینه مدیریت تأمین آب شرب در شرایط پیش از بحران آداچی و همکاران در سال ۲۰۰۸ با استفاده از تجزیه و تحلیل درخت خطا، آسیب ناشی از زلزله در یک سیستم توزیع آب شهری و تأثیر این آسیب و عدم اطمینان از شدت زمین لرزه بر روی سیستم آب شهری در شهر ممفیس را بررسی کردند و در نهایت ریسک ناشی از زمین لرزه بر روی سیستم آبرسانی شهری را به‌دست آوردند (Adachi et al., 2008). باقری و همکاران در سال ۲۰۱۰ از روش پویایی سیستم برای ارزیابی وضعیت بحرانی سیستم آب شهری بم پس از زلزله سال ۲۰۰۳ استفاده کرده و از نتایج مدل دریافتند که محدود کردن الگوی مصرف آب علاوه بر توسعه دادن ظرفیت زیرساخت‌های آبی پس از پایان دوران بازسازی، بحران را تاحد زیادی کاهش می‌دهد (Bagheri et al., 2010). روزبهانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به ارائه روشی مبتنی بر روش سلسله مراتبی فازی برای تحلیل ریسک کمیت و کیفیت آب در یکی از کلان شهرهای ایران پرداختند و مقدار کمّی ریسک هر یک از بخش‌های تأمین، تصفیه و توزیع را به همراه راهکارهای مدیریتی مربوط به هر بخش ارائه دادند (Roozbahani et al., 2014).

برنامه‌ریزی برای مدیریت تأمین آب شرب برای شهرهای پر جمعیت، به‌دلیل تصمیم‌گیرندگان مختلفی که از تمام سطوح دولتی و سازمان‌ها وجود دارند، مشکل است (Segrave et al., 2014). به‌همین دلیل ارائه یک طرح مشخص که تمام شرایط و محدودیت‌های حاکم را تأمین نماید، امکان‌پذیر نیست. یکی از رویکردهای نوین برخورد با این گونه از مسائل، استفاده از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره[1] است. این روش‌ها قابلیت دسته‌بندی و رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری را به‌صورت پیوسته یا گسسته با در نظر گرفتن معیارهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و فنی، دارا می‌باشند (Roozbahani and Zahraie, 2009).

صالحی و همکاران در سال ۲۰۱۸ اهمیت استفاده از این روش‌ها را در زمینه مدیریت سیستم‌های آبرسانی شهری نشان دادند (Salehi et al., 2018).

خانواده روش تصمیم‌گیری غیر مرتبه‌ای[2] به‌عنوان یک روش کارا و با استفاده از دو واژه ترجیح و بی‌تفاوتی به دنبال انتخاب بهترین گزینه است، که یکی از دسته روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره هستند (Hajkowicz and Higgins, 2008).

این روش انواع مختلفی دارد از جمله PROMETHEE I برای رتبه‌بندی جزئی، PROMETHEE II برای مواقعی که تصمیم گیرنده نیازمند رتبه‌بندی کامل است و PROMETHEE V که رتبه‌بندی را تحت محدودیت‌هایی خاص انجام می‌دهد (Brans et al., 1986). روش PROMETHEE II کاربردهای گسترده‌تری داشته است. از پژوهش‌های انجام شده با روش PROMETHEE II در مسائل منابع آب و در نهایت رتبه‌بندی دستورالعمل‌ها در زمینه‌های مختلف منابع آب می‌توان به پژوهش طلیلی و همکاران در سال ۲۰۱۲، نصیری و همکاران در سال ۲۰۱۳ و وولویچ و همکاران در سال ۲۰۱۷، اشاره کرد (Vulević and Dragovic, 2017, Nasiri et al., 2013, Tlili and Nafi, 2012).

یکی از پژوهش‌های پیشین در زمینه کاربرد روش خانواده PROMETHEE و PROMETHEE فازی در منابع آب، پژوهش کودیکارا و همکاران در سال ۲۰۱۰ است که از روش PROMETHEE I برای رتبه‌بندی گزینه‌های تأمین آب مخزن آب شهری شهر ملبورن با ۸ معیار مختلف و در نظر گرفتن نظرات تصمیم گیرندگان مختلف از جمله مدیران منابع آب و کاربران آب و گروه‌های ذینفع زیست محیطی استفاده کردند (Kodikare et al., 2010). علاوه بر آن روزبهانی و همکاران در سال ۲۰۱۲روش جدید PROMETHEE مبتنی بر تعیین ارجحیت بین معیارها را ارائه دادند و برای اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت تأمین آب شهری استفاده کردند (Roozbahani et al., 2012). فونتانا و همکاران در سال ۲۰۱۳ از روش PROMETHEE V

[1] Multi Criteria Decision Making (MCDM)

[2] Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

برای انتخاب سناریوهای کاهش نشت آب استفاده کردند و اقدامات لازم با در نظر گرفتن محدودیت‌های سیستم مانند تلفات آب و بودجه محدود را در نظر گرفتند (Fontana and Morais, 2013).

کووانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ و یوئن و تینگ و در سال ۲۰۱۲ با ادغام روش PROMETHEE II و منطق فازی عدم قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری مسائل منابع آبی را در نظر گرفتند (Kuang et al., 2012, Yuen and Ting, 2012).

در برنامه‌ریزی به‌منظور تأمین آب شرب اغلب عدم قطعیت در پارامترهای مورد نیاز به‌دلیل ماهیت مدیریت پیش از بحران و نظرات کارشناسان مختلف و افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش تقاضای منابع و فشار بر روی آن‌ها، وجود دارد، به‌همین دلیل در این پژوهش روش PROMETHEE و تئوری فازی تلفیق شد.

در هیچ یک از پژوهش‌ها پیشین رتبه‌بندی سناریوهای تأمین و توزیع آب شرب در شرایط پیش از بحران صورت نگرفته است، علاوه بر این تحلیل‌های انجام شده هیچکدام عدم قطعیت را برای مدیریت تأمین آب پیش از بحرانی همچون زلزله در نظر نگرفته‌اند. در این پژوهش برای نخستین بار مدل PROMETHEE II فازی برای مدیریت تأمین و توزیع آب شهر تهران در شرایط پیش از بحران و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در نظرات کارشناسی و پارامترهای مورد نیاز به‌منظور مدیریت ریسک تأمین آب شهری به‌صورت فازی ارائه شد. در این رویکرد بر مبنای نظرات کارشناسان مختلف، معیارها و سناریوهای مدیریت تأمین آب شرب در شرایط پیش از بحران به‌خصوص زلزله برای شهر تهران انتخاب و سپس توسط مدل ذکر شده رتبه‌بندی و بررسی شدند.

۲- روش‌شناسی

مدیریت تأمین آب شرب شهر تهران پیش از بحران به‌دلیل:۱- وجود قدرت مانور و برنامه‌ریزی مدون ۲- امکان جلوگیری از بحران ۳- امکان کاهش تبعات و خسارات ناشی از بحران ۴- امکان افزایش سرعت کنترل بحران ۵-کاهش هزینه‌های مالی و غیرمالی در فاز حین و پس از بحران حائز اهمیت است (Daneshvar, 2011). سناریوها و معیارهای انتخابی در این فاز نیز بر همین اساس تدوین می‌شود. در این پژوهش برای ارزیابی و تعیین راهکارهای مدیریت تأمین و توزیع آب شرب در شرایط پیش از بحران از روش PROMETHEE II فازی استفاده شد. ساختار کلی مدل پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۱- معرفی معیارها

در این پژوهش ابتدا برای تعریف معیارها از پژوهش‌های رز و لیائو در سال ۲۰۰۵، لیو و شیو در سال ۲۰۰۷، کاریوکی و لو در سال ۲۰۰۷، وانگ و آیو در سال ۲۰۰۹، ضرغامی و احسانی در سال ۲۰۱۱ و ملک‌محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ استفاده شد (Wang and Au, 2009, Kariuki and Löwe, 2007, Liu and Sheu, 2007, Rose and Liao, 2005, Malekmohammadi et al., 2013, Zarghami and Ehsani, 2011).

سپس با تهیه پرسشنامه و تجمیع نظرات یازده کارشناس مربوط به بخش مدیریت بحران و پدافند غیر عامل شرکت آب و فاضلاب تهران و شرکت تأمین و تصفیه استان تهران و برخی اساتید با تجربه دانشگاه، ۵ معیار برای مدل انتخاب شد. لازم به ذکر است که همه این معیارها تعیین کننده و تأثیرگذار در فاز پیش از بحران هستند و بر مبنای این معیارها سناریوهای پیش از بحران رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین این معیارها می‌توانند در حین بحران نیز دوباره بررسی شوند. در این پژوهش به‌صورت کلی بحران‌هایی همچون حملات تروریستی، زلزله و سیل در نظر گرفته شد. این معیارها به شرح زیر است:

قابلیت اطمینان تأمین مقدار آب (C1): تأمین مقدار آب شرب کافی همواره از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی مدیران و تصمیم‌گیرندگان حوزه آب شهری قبل از وقوع تهدیدات مختلف به‌خصوص زلزله است.

سرعت و سهولت اجرا (C2): حوادث طبیعی مانند زلزله قابل پیش‌بینی نیستند، لذا سناریوهایی کاربرد بیشتری دارند که در مواقع اضطرار به راحتی و به سرعت بتواند آب شرب مورد نیاز مردم را تأمین کنند.

هزینه پیاده‌سازی طرح (C3): در شرایط پیش از بحران هزینه و بودجه مورد نظر است که تعیین می‌کند کدام راهکار قابل اجرا است؛ چه بسا سناریوهای مناسبی هستند که به‌دلیل پر هزینه بودن قابل اجرا نیستند. بنابراین معیار هزینه پیاده‌سازی طرح معیار مهمی برای رتبه‌بندی سناریوها به‌شمار می‌رود.

www.SID.ir

Archive of SID

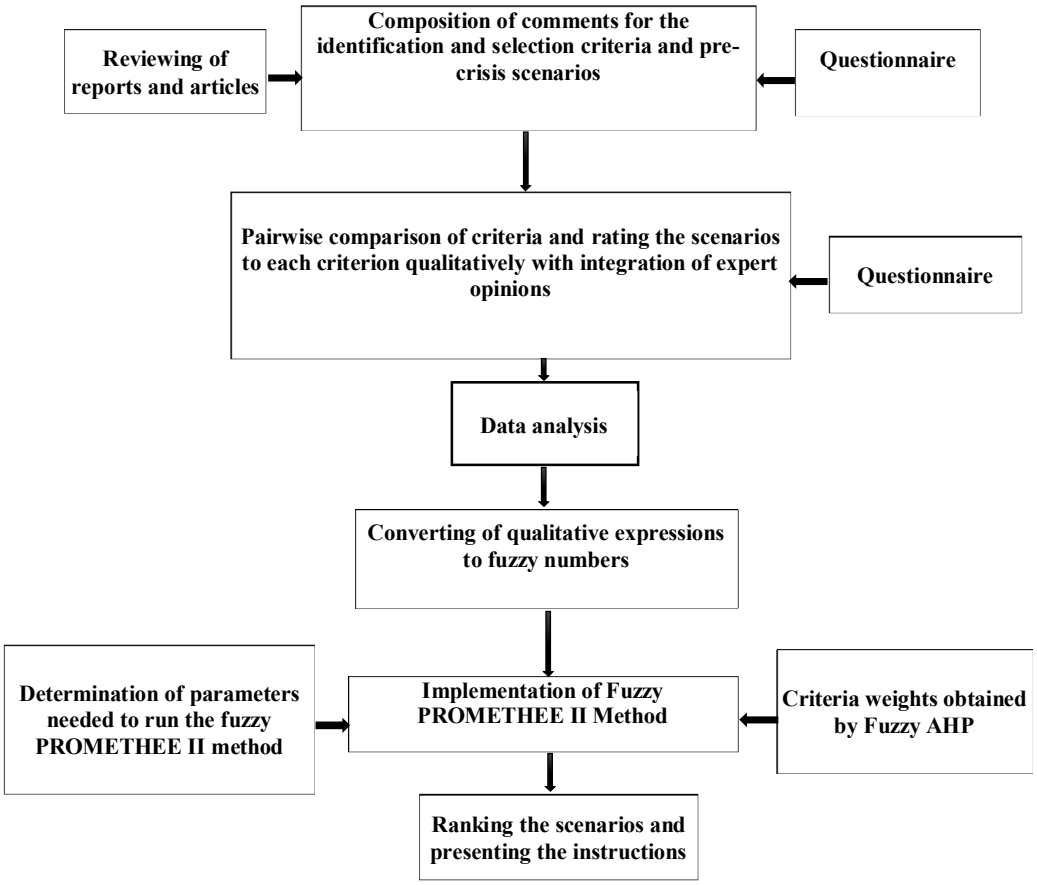

Fig. 1. General framework of fuzzy PROMETHEE II method for drinking water supply and distribution management in this research

شکل ۱- ساختار کلی روش PROMETHEE II فازی برای مدیریت تامین و توزیع آب شرب در این پژوهش

رضایت اجتماعی و مشارکت عمومی (C4): یکی از مشکلاتی که طرح بزرگ آب‌رسانی اضطراری شهر تهران را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مسائل اجتماعی و شرایط فرهنگی ساکنان محلات، مناطق و یا شهرهاست. فرهنگ‌سازی در خصوص همکاری مردم در دریافت آب و استفاده آن به‌خصوص در شرایط اضطراری، موضوع مهمی است.

کیفیت آب در دسترس (C5): از عمده‌ترین مشکلاتی که در شرایط اضطراری مردم با آن مواجه می‌شوند، مشکل آب است که هم در هنگام حادثه و هم بعد ازحادثه، سلامت مردم را تهدید می‌کند و در صورت بی‌توجهی در نظارت بر کیفیت آب، احتمال ورود عوامل آلوده کننده به داخل شبکه‌ها و منابع آبی وجود دارد و زمینه افزایش بیماری‌ها فراهم می‌شود.

۲-۲- معرفی سناریوها

در این قسمت ابتدا با استفاده از گزارش‌ها و پژوهش‌های مرتبط با مدیریت بحران و پدافند غیر عامل شهر تهران، ۲۹ سناریوی پیش از وقوع بحران تهیه شد. سپس با تهیه پرسشنامه و تجمیع نظرات توسط کارشناسان مربوطه ۱۰ سناریو شامل موارد زیر انتخاب شد

احداث و مکان‌سنجی مخازن ذخیره آبرسانی اضطراری (A1): مخازن اضطراری برای شرایط بعد از بحران به‌ویژه پس از وقوع زلزله مورد نیاز هستند. برای مکان‌سنجی مخازن توجه به تجربه‌های مشابه مخازن به‌صورتی که با طی حداکثر ۱ کیلومتر بتوان به آب دسترسی پیدا کرد حائز اهمیت است.

افزایش ایمنی کپسول‌های کلر و تغییر سیستم کلرزنی (A2): در مخاطراتی همچون زلزله که تبعات حاصله بسیار شدید و زمان

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

لازم برای ایجاد بحران بسیار کم است، در تأسیساتی همچون سیستم‌های کنترل‌کننده فرایند کلرزنی اگر نشتی ایجاد شود، مشکلات شدید ریوی ایجاد می‌شود. به‌همین دلیل باید سیستم جایگزین انتخاب شود. منظور از افزایش ایمنی مقاوم‌سازی و مهار کردن کپسول و ایجاد سازه‌های مقاوم در اطراف کپسول است.

تقویت پدافند غیرعامل در سیستم‌های تأمین و انتقال و توزیع (A3): هر اقدام غیر مسلحانه‌ای که موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی،ساختمان‌ها، تأسیسات، تجهیزات، اسناد و شریان‌های کشور در مقابل بحران‌هایی با عامل طبیعی (خشکسالی، سیل، زلزله، رانش، لغزش و طوفان) و عامل انسانی (جنگ، شورش‌های داخلی و تحریم) شود، پدافند غیرعامل خوانده می‌شود (Yazdani and Sayedin, 2017). بنا به این تعریف عملیات پدافند غیر عامل تنها مختص به حملات تروریستی نیست و برای همه بحران‌ها باید صورت گیرد. شبکه‌های آبرسانی به‌خصوص در تهدیدات خرابکاری و تروریستی به شدت آسیب‌پذیرند. از طرفی در بحران‌های طبیعی نیز امکان آسیب‌پذیری سیستم توزیع آب وجود دارد، پس قبل از هر اقدامی باید پیشگیری لازم در برابر حوادث صورت پذیرد. طراحی سیستم‌های تأمین و توزیع آب شهری باید به گونه‌ای باشد که در شرایط بحران و اضطرار آب مورد نیاز شهری تأمین شود و تخریب یا آلودگی قسمتی از شبکه باعث از کار افتادن تمام شبکه نشود.

تهیه تانکرهای آب به‌منظور آبرسانی اضطراری (A4): تانکرهای آبرسانی به‌منظور انتقال آب شرب به مناطقی که دسترسی به آب آشامیدنی وجود ندارد، استفاده می‌شود و به‌عنوان یک کمک کننده به مخازن اضطراری، ضروری است.

برنامه‌ریزی جهت استفاده از نیروهای فراسازمانی و نیروهای مردمی و آموزش نیروهای فنی و برگزاری مانور(A5): با جلب مشارکت و همکاری‌های مردمی و نیروهای داوطلب از طریق آموزش عمومی وتوزیع آب بین آسیب‌دیدگان می‌توان از نیروهای مردمی استفاده بهینه کرد. استفاده از نیروهای فراسازمانی به معنی پشتیبانی و هماهنگی با مدیریت بحران استان و ادارات و سازمان‌های مختلف (دولتی و خصوصی) برای تقویت نیروی عملیاتی است.

تهیه سیستم‌های تصفیه آب قابل حمل (A6): در زمان وقوع بلایای طبیعی یا در زمان وقوع شرایط خطر مانند جنگ، یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های دولت‌ها تأمین آب شرب برای مردم است. اصلی‌ترین منابع تأمین این آب از رودخانه، دریاچه و یا آب شور با میزان آلودگی بالا و دارای کدورت زیاد و آلودگی‌های میکربی است. وجود این‌گونه ناخالصی‌ها در آب می‌تواند در مدت زمان بسیار کوتاهی فرایند تصفیه و نمک‌زدایی آب راکاملاً مختل نماید. به‌همین علت استفاده از سیستم‌های تصفیه آب قابل حمل در هنگام بحران ضروری است.

تعبیه برق اضطراری برای تأسیسات آبرسانی (A7): در مواقع بحران باید از استمرار خدمات آبرسانی به میزان حداقل و تعبیه برق برای سیستم‌های تأمین آب مثل چاه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ و سیستم‌های تصفیه آب اطمینان حاصل کرد.

اصلاح و بازسازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب(A8): مقاوم‌سازی خطوط انتقال آب، تصفیه‌خانه‌ها و مخازن ذخیره در شهر تهران به علت وجود ابنیه انبوه و مرتفع، تراکم ساختمان‌ها، محدودیت عرض معابر، وجود ترافیک در معابر، وجود دو گسل شمالی و جنوبی تهران، بسیار مهم است و باید در اولویت قرار گیرد.

مدیریت مصرف و ایجاد فرهنگ صرفه جویی و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری (A9): یکی از مشکلاتی که طرح‌های آبرسانی اضطراری شهر تهران و یا سایر شهرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مسائل اجتماعی و شرایط فرهنگی ساکنان شهرهاست. فرهنگ‌سازی در خصوص شیوه و کیفیت استفاده مشترکان و مصرف‌کنندگان آب و همکاری مردم در دریافت آب و استفاده آن به‌خصوص در شرایط اضطراری، از جمله مسائل مهمی است که نقشی بسیار کلیدی در میزان آب مصرفی در شرایط بحران دارد، به‌همین دلیل شرکت‌های آب و فاضلاب در چشم‌انداز این طرح لازم است ظروف ذخیره آب با قابلیت‌های بالایی از لحاظ سبکی و عدم جاگیری خریداری و انبار نمایند تا به هنگام وقوع شرایط اضطراری در بین مردم تقسیم کنند. به نقل از بخش مدیریت بحران و پدافند غیر عامل شرکت تأمین و تصفیه آب و فاضلاب استان تهران، همه سناریوهای تأمین آب در شرایط پیش از بحران باید با شرایط فرهنگی و مسائل اجتماعی تطبیق داده شود، زیرا در غیر این صورت بیشتر زحمات و هزینه‌ها بی‌فایده خواهند بود.

قرارداد با شرکت تولید آب بسته‌بندی (A10): یکی از مهم‌ترین مشکلات پس از وقوع بحران‌ها، تأمین حداقل آب آشامیدنی است. قرارداد با شرکت‌های آب معدنی نزدیک تهران می‌تواند آب

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

آشامیدنی را در روزهای اولیه حین بحران تأمین کند.

۲-۳- تعیین وزن معیارها

در این پژوهش برای تعیین وزن معیارها از روش AHP فازی استفاده شد، روش AHP فازی این پژوهش برگرفته از روش میانگین هندسی باکلی می‌باشد (Hsieh et al., 2004). این روش به AHP فازی بهبود یافته (بسط یافته) معروف است. گام‌های این روش در زیر آورده شده است. همچنین گوگوس و بوچر پیشنهاد دادند برای بررسی سازگاری، دو ماتریس (عدد میانی و حدود عدد فازی) از هر ماتریس فازی مشتق و سپس سازگاری هر ماتریس بر اساس روش ساعتی که در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد داده محاسبه شود (Saaty, 1980)، در صورتی که شاخص ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، ماتریس فازی سازگار است. در صورتی که این شاخص از ۰/۱ بیشتر باشد، از تصمیم‌گیرنده تقاضا می‌شود تا در اولویت‌های ارائه شده، تجدیدنظر نماید (Gogus and Boucher, 1998).

اگر p_{ij} مجموعه‌ای از ترجیحات تصمیم‌گیران در مورد معیار i نسبت به j به صورت فازی باشد، ماتریس مقایسات زوجی مطابق معادله ۱ است

$$p_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & p_{12} & p_{1n} \\ p_{21} & 1 & p_{2n} \\ p_{n1} & p_{n2} & 1 \end{pmatrix} \quad (۱)$$

که در آن

n تعداد عناصر مرتبط در هر سطر است و اعداد این ماتریس یک عدد فازی مثلثی مانند (a,b,c) هستند که a حد بالا و b مقدار مورد نظر با درجه عضویت ۱ و c حد پایین آن است. اوزان فازی هر معیار ماتریس مقایسات زوجی با روش میانگین هندسی به‌دست می‌آید. میانگین هندسی ارزش مقایسات فازی معیار i نسبت به j از معادله ۲ به‌دست می‌آید. به‌عبارتی از این معادله، میانگین هندسی هر سطر در ماتریس ادغام نظرات تشکیل شده محاسبه می‌شود که در آن r_i میانگین هندسی فازی معیار i و n تعداد معیارها است

$$r_i = \left(\prod_{j=1}^{n} p_{ij} \right)^{(1/n)} \quad i = 1,2,3,\ldots,n \quad (۲)$$

سپس وزن فازی معیار iام از معادله ۳ به‌دست می‌آید

$$w_i = r_i \otimes (r_i \oplus r_2 \oplus \ldots \oplus r_m)^{(-1)} \quad (۳)$$

در این پژوهش برای محاسبه وزن در مقایسات زوجی، از عبارات کلامی و فازی جدول ۱ استفاده شد.

جدول ۱- معادل فازی اعداد قطعی(Motevallian et al., 2014)

Table 1. Fuzzy equivalents of crisp values (Motevallian et al., 2014)

Crisp values	Definition	Fuzzy equivalents
1	Equal importance	(1,1,1)
3	Moderate importance	(2,3,4)
5	Strong importance	(4,5,6)
7	Very strong importance	(6,7,8)
9	Extreme importance	(8,9,9)

۲-۴- شرح مدل PROMETHEE II فازی

همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد، در این پژوهش برای رتبه‌بندی سناریوهای تأمین آب شرب در شرایط پیش از بحران از روش PROMETHEE II استفاده شد و به‌دلیل عدم قطعیت‌ها در نظرات کارشناسی و در سیستم‌های تأمین آب شهر تهران که در طول زمان دچار تغییر شده، از منطق فازی استفاده شد. تئوری فازی انعطاف‌پذیری مورد نیاز را برای نشان دادن عدم اطمینان یا اطلاعات مبهم ناشی از کمبود دانش یا اطلاعات را فراهم می‌کند (Zadeh, 1996).

روش PROMETHEE II فازی ترکیبی از روش PROMETHEE و اعداد فازی است. ادغام تئوری فازی و روش PROMETHEE برای اولین بار توسط لی تنو و مارشال در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد شد (Le Téno and Mareschal, 1998). روش‌های مختلفی برای PROMETHEE II فازی وجود دارد که در این پژوهش از روش PROMETHEE II فازی ارائه شده توسط لولی و همکاران در سال ۲۰۱۶ استفاده شد (Lolli et al., 2016).

گام‌های روش ذکر شده به شرح زیر است

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

گام اول: به هر معیار یک وزن فازی طبق روش گفته شده اختصاص داده می‌شود. اگر هر تصمیم‌گیرنده یک وزن مخصوص به خود ارائه دهد با استفاده از معادله ۴ وزن نهایی انتخاب می‌شود

$$w_j = (lw_j, mw_j, uw_j) = (\min_{(m=1,2,...,M)} w_{(m,j)}, 1/M\sum_{m=1}^{M} w_{(m,j)}, \max_{(m=1,2,...,M)} w_{(m,j)}) \quad (۴)$$

که در این معادله

$\tilde{W}_j$ وزن فازی هر معیار، lw_j حد پایین وزن، mw_j حد میانی وزن، uw_j حد بالای وزن‌های تعیین شده، M تعداد تصمیم گیرندگان، $w_{m,j}$ وزن تعیین شده توسط تصمیم گیرنده m ام، $\min w_{m,j}$ کمترین مقدار وزن تعیین شده توسط تصمیم گیرنده mام و $\max w_{m,j}$ بیشترین مقدار وزن تعیین شده توسط تصمیم گیرنده mام برای معیار jام است.

گام دوم: ساخت ماتریس تصمیم فازی؛ برای ساخت ماتریس تصمیم ابتدا متغیرهای زبانی تعیین شده توسط تصمیم‌گیرندگان تبدیل به اعداد فازی مثلثی شد. در این پژوهش برای تعریف متغیرهای زبانی که به‌وسیله پرسشنامه گرفته شدند، از اعداد فازی مثلثی و طیف ۵ نقطه‌ای که در جدول ۲ آمده است، استفاده شد. سپس برای هر یک از معیارهای کیفی تعیین شده توسط تصمیم گیرندگان، مقدار فازی از معادله ۵ به‌دست آمد

$$\tilde{x}_{ij} = (lx_{ij}, mx_{ij}, ux_{ij}) = (\min_{(m=1,2,...,M)} x_{(m.i.j)}, 1/M\sum_{m=1}^{M} x_{(m,i,j)}, \max_{(m=1,2,...,M)} x_{(m,i,j)}) \quad (۵)$$

که در این معادله

$\tilde{x}_{ij}$ مقدار فازی امتیاز هر معیار نسبت به هر سناریو و lx_{ij} حد پایین این مقدار، mx_{ij} حد میانی ، ux_{ij} حد بالای آن و امتیاز تصمیم گیرنده mام برای معیار jام نسبت به سناریوی iام، کمترین مقدار و بیشترین مقدار آن هستند.

گام سوم: تعیین مقادیر فازی برای آستانه ترجیح و بی‌تفاوتی؛ آستانه ترجیح[1] مقداری است که وقتی اختلاف دو معیار بیشتر از این مقدار شود سناریویی به سناریو دیگر غالب می‌شود و آستانه بی‌تفاوتی[2] بزرگ‌ترین اختلافی است که تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مقایسه دو معیار نادیده گیرد (Brans et al., 1986). در مورد تعیین معیارها (مرحله ۲)، تصمیم گیرندگان ممکن است آستانه‌های مختلف را بیان کنند، همچنین وزن معیارها نیز اعداد فازی هستند. به‌همین دلیل برای در نظر گرفتن اختلاف نظر تصمیم گیرندگان یک شماره فازی برای آستانه ترجیح و بی‌تفاوتی طبق معادلات ۶ و ۷ تعریف می‌شود

$$\tilde{q}_j = (lq_j, mq_j, uq_j) = (\min_{(m=1,2,...,M)} q_{(m,j)}, 1/M\sum_{m=1}^{M} q_{(m,j)}, \max_{(m=1,2,...,M)} q_{(m,j)}) j = 1,...,J \quad (۶)$$

$$\tilde{p}_j = (lp_j, mp_j, up_j) = (\min_{(m=1,2,...,M)} p_{(m,j)}, 1/M\sum_{m=1}^{M} p_{(m,j)}, \max_{(m=1,2,...,M)} p_{(m,j)}) j = 1,...,J \quad (۷)$$

که در این معادلات

$\tilde{q}_j$ آستانه بی‌تفاوتی فازی، lq_j حد پایین، mq_j حد میانی، uq_j حد بالای این مقدار، $q_{m,j}$ مقدار آستانه بی‌تفاوتی تعیین شده توسط تصمیم گیرنده mام برای معیار jام، $\min q_{m,j}$ کمترین مقدار آن، $\max q_{m,j}$ بیشترین مقدار آن و j تعداد معیارها و $\tilde{p}_j$ آستانه ترجیح فازی، lp_j حد پایین، mp_j حد میانی، up_j حد بالای این مقدار، $p_{m,j}$ مقدار آستانه ترجیح تعیین شده توسط تصمیم گیرنده mام برای معیار jام، $\min p_{m,j}$ کمترین مقدار و $\max p_{m,j}$ بیشترین مقدار آن هستند.

گام چهارم: تعیین توابع ارجحیت؛ چون آستانه ترجیح و بی‌تفاوتی فازی هستند، پس این توابع نیز طبق معادله ۸ فازی می‌شوند

جدول ۲- مقیاس کلامی برای امتیازدهی معیارها

Table 2. Linguistic variables for rating criteria (Patil & Kant, 2014)

Triangular fuzzy scale	Linguistic scale for rating criteria
(1,1,3)	Very poor
(1,3,5)	Poor
(3,5,7)	Medium
(5,7,9)	Good
(7,9,11)	Very good

[1] Preference

[2] Indifference

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

$$\tilde{p}_j(\tilde{x}_{ij},\tilde{x}'_{ij}) = (lp_{ii',j}, mp_{ii',j}, up_{ii',j}) \quad (۸)$$

که در این معادله

$\tilde{p}_j(\tilde{x}_{ij},\tilde{x}'_{ij})$ مقدار تابع ارجحیت فازی و $lp_{ii',j}$ حد پایین، $mp_{ii',j}$ حد میانی و $up_{ii',j}$ حد بالای تابع ارجحیت و شماره هر سناریو، j شماره معیارها هستند.

در روش PROMETHEE شش نوع تابع ارجحیت دارد که در این پژوهش با توجه به ماهیت معیارها، از تابع نوع ۵ استفاده شد (Brans et al., 1986) و برای حل آن، تابع طبق معادلات ۹، ۱۰ و ۱۱ به سه حد بالا و میانی و پایین تقسیم شد که پارامترهای آن در قسمت‌های قبل معرفی شدند

حد پایین یا معیار حداقل $lp_{ii',j}$

(۹)

$$lp_{ii',j} = \begin{cases} 0 \text{if } \min(ux_{i,j} - lx_{i',j}); (lx_{i,j} - ux_{i',j}) \le uq_j \\ \dfrac{\min((ux_{i,j} - lx_{i',j}); (lx_{i,j} - ux_{i',j})) - uq_j}{up_j - uq_j} \text{otherwise} \\ 1 \text{if } \min(ux_{i,j} - lx_{i',j}); (lx_{i,j} - ux_{i',j}) \ge up_j \end{cases}$$

حد میانی $mp_{ii',j}$

(۱۰)

$$mp_{ii',j} = \begin{cases} 0 \text{if } \min(mx_{i,j} - mx_{i',j}); (mx_{i,j} - mx_{i,j}) \le mq_j \\ \dfrac{\min(mx_{i,j} - mx_{i',j}) - uq_j}{mp_j - mq_j} \text{otherwise} \\ 1 \text{if } \min(mx_{i,j} - mx_{i',j}) \ge mp_j \end{cases}$$

حد بالا یا معیار حداکثر $up_{ii',j}$

(۱۱)

$$up_{ii',j} = \begin{cases} 0 \text{if } \max(ux_{i,j} - lx_{i',j}); (lx_{i,j} - ux_{i',j}) \le lq_j \\ \dfrac{\max((ux_{i,j} - lx_{i',j}); (lx_{i,j} - ux_{i',j})) - lq_j}{lp_j - lq_j} \text{otherwise} \\ 1 \text{if } \max(ux_{i,j} - lx_{i',j}); (lx_{i,j} - ux_{i',j}) \ge lp_j \end{cases}$$

گام پنجم: تعیین جریان ورودی و خروجی و جریان خالص به شکل فازی؛ جریان خروجی (معادله ۱۲) بیان می‌کند که هر سناریو چه مقدار بر دیگر سناریوها غلبه دارد. هرچه این مقدار بیشتر باشد، این گزینه برتر خواهد بود و جریان ورودی (معادله ۱۳) بیان می‌کند که چقدر آن سناریو مغلوب باقی سناریوها است. هرچه این مقدار کمتر باشد، این گزینه بهتر خواهد بود. جریان خالص (معادله ۱۴) نیز که برای رتبه‌بندی کامل در روش PROMETHEE II استفاده می‌شود، اختلاف جریان خروجی و ورودی است

$$\tilde{\Phi}_i^{+} = (l\Phi_i^{+}, m\Phi_i^{+}, u\Phi_i^{+}) = \frac{\sum_{i'}^{I}\sum_{j=1}^{J} w_j \times p_j(x_{i,j}, x_{i',j})}{n-1} \; i', i = 1,\ldots,I \;\; j = 1,\ldots,J \quad (۱۲)$$

که در این معادله

$\tilde{\Phi}_i^{+}$ جریان خروجی فازی، $l\Phi_i^{+}$ حد پایین، $m\Phi_i^{+}$ حد میانی $u\Phi_i^{+}$ حد بالای این مقدار هستند. i و i' شماره هر سناریو، j شماره معیارها و n تعداد سناریوها است

$$\tilde{\Phi}_i^{+} = (l\Phi_i^{+}, m\Phi_i^{+}, u\Phi_i^{+}) = \frac{\sum_{i'}^{I}\sum_{j=1}^{J} w_j \times p_j(x_{i,j}, x_{i',j})}{n-1} \; i', i = 1,\ldots,I \;\; j = 1,\ldots,J \quad (۱۳)$$

که در این معادله

$\tilde{\Phi}_i^{-}$ جریان ورودی فازی، $l\Phi_i^{-}$ حد پایین، $m\Phi_i^{-}$ حد میانی و $u\Phi_i^{-}$ حد بالای این مقدار است

$$\tilde{\Phi}_i^{net} = (l\Phi_i^{net}, m\Phi_i^{net}, u\Phi_i^{net}) = \tilde{\Phi}_i^{+} - \tilde{\Phi}_i^{-} \quad (۱۴)$$

که در این معادله

$\tilde{\Phi}_i^{net}$ جریان خالص فازی ، $l\Phi_i^{net}$ حد پایین، $m\Phi_i^{net}$ حد میانی و $u\Phi_i^{net}$ حد بالای این مقدار است.

گام ششم: غیرفازی کردن جریان خالص؛ در این مرحله مقادیر فازی جریان خالص با استفاده از روش مرکز سطح که توسط سوگنو طبق معادله ۱۵ تعریف شده به یک عدد قطعی تبدیل می‌شود (Sugeno, 1985).

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

$$x^* = \frac{\int x\mu(x)d(x)}{\int \mu(x)d(x)} \quad (۱۵)$$

که در این معادله

X^* مقدار قطعی امتیاز هر سناریو، $\mu(x)$ تابع عضویت فازی و x متغیر خروجی است که در اینجا مقادیر جریان خالص فازی هستند. در نهایت سناریویی که بیشترین امتیاز را دریافت کند، ارجح است.

۳- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر تهران دارای ۶ منطقه آب و فاضلاب شهری است و هر منطقه از منابع آبهای سطحی شامل جاجرود، رود لار، حبله‌رود، رود سولقان و گلاب‌دره و چاه‌های زیرزمینی برای تأمین آب شرب خود استفاده می‌کند. تهران دارای ۵ تصفیه‌خانه شامل تصفیه‌خانه جلالیه، کن، سوهانک و ۲ تصفیه‌خانه در تهرانپارس است که آب آن از سد امیرکبیر، لار، لتیان و طالقان تأمین می‌شود. عوامل بحران آب در تهران به دو دسته عوامل قابل پیش‌بینی شامل افزایش جمعیت، خشکسالی،آلودگی منابع آب زیرزمینی، اتلاف آب از تولید تا مصرف و عوامل غیر مترقبه شامل زلزله، سیل و حملات تروریستی تقسیم می‌شود. در این بحران‌ها، تبعات حاصله از وقوع زلزله به‌خصوص در شهر تهران به‌دلیل مشکلاتی مانند جمعیت بسیار زیاد شهر تهران و تقاضای بسیار زیاد آب، گستردگی بسیار زیاد تأسیسات آبی، عدم توسعه مناسب شهری مطابق با موازین شهرسازی، تبعات بسیار شدید بحران آب و امکان تسری به جنبه‌های اجتماعی، سیاسی و غیره بسیار شدید و زمان لازم برای ایجاد بحران بسیار کم است. به‌همین دلیل اقدامات لازم برای فاز پیش از بحران اهمیت ویژه‌ای دارد. برخی از اقداماتی که در حال حاضر در زمینه مدیریت پیش از بحران توسط آب و فاضلاب استان تهران انجام می‌شود، عبارت‌اند از: ۱- راه‌اندازی دو سامانه ذخیره و توزیع اضطراری آب در دو نقطه زرگنده و سنگلج ۲- تجهیز کردن تمام تانکرهای آبرسانی و سیستم توزیع آب بسته‌بندی برای شرایط فعلی۳- مقاوم سازی و اصلاح بخشی از شبکه آبرسانی با استفاده از لوله های چدن داکتیل ضد زلزله۴- ساخت مرکز هماهنگی مدیریت بحران آب تهران در دو طبقه با امکانات و تجهیزات پیشرفته برای هدایت و نظارت عملیات مناطق ۱۲ گانه آب تهران ۵- ساخت و فعال‌سازی کانکس سیار فرماندهی بحران، استقرار کانکس تجهیزات مقابله با بحران آب در چندین نقطه شهر ۶- آغاز ساخت خط لوله کمربندی آب تهران و تعیین ۱۳۰ حلقه چاه برای تأمین آب اضطراری، از جمله اقدامات در این حوزه هستند.

۴- اجرای مدل و تحلیل نتایج

در این پژوهش پرسشنامه‌هایی تهیه شد که در آن از کارشناسان مربوطه خواسته شد تا این موارد را تکمیل کنند: ۱- اهمیت هر معیار نسبت به معیار دیگر به صورت کیفی۲- امتیاز هر معیار نسبت به ۱۰ سناریوی معرفی شده به صورت کیفی. در واقع هر ۱۰ سناریو نسبت به معیارهایی که در بخش قبل توضیح داده شد، با متغیرهای زبانی امتیازبندی شدند. سپس با استفاده از مراحل ذکر شده، روش PROMETHEE II فازی تحلیل و رتبه بندی شد.

۴-۱- تعیین وزن فازی معیارها

در این پژوهش بعد از ارائه نظرات خبرگان، نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه شد که همگی کمتر از ۰/۱ شدند. سپس با استفاده از روش میانگین هندسی مقایسات زوجی ادغام شدند و برای محاسبه وزن معیارها از روش گفته شده در قسمت ۲-۳ استفاده شد. جدول ۳ وزن فازی تعیین شده را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از جدول ۴، معیار قابلیت اطمینان تأمین مقدار آب بیشترین وزن و اهمیت را داشت و پس از آن به ترتیب هزینه اجرای طرح، رضایت اجتماعی و مشارکت عمومی، کیفیت آب در دسترس و در نهایت سرعت و سهولت اجرا اهمیت داشتند.

۴-۲- ساخت ماتریس تصمیم فازی

در گام دوم باید ماتریس تصمیم ادغام شده، تشکیل شود. این پژوهش شامل ۵ معیار و ۱۰ سناریو است که معیار قابلیت اطمینان تأمین آب، کیفیت آب در دسترس، رضایت اجتماعی و مشارکت عمومی و سرعت و سهولت اجرا جنبه مثبت دارند ولی معیار هزینه اجرا جنبه منفی دارد که می‌توان آن را معکوس کرد تا به مثبت تبدیل شود.

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

جدول ۳- وزن فازی معیارها (Patil and Kant, 2014)

Table 3. Fuzzy weights for criteria (Patil and Kant, 2014)

Name of criteria	Fuzzy weights	Defuzzified weight
Reliability of the water supply	(0.209, 0.332, 0.513)	0.347
Cost of project implementation	(0.187, 0.283, 0.433)	0.296
Social satisfaction and public Participation	(0.123, 0.201, 0.315)	0.210
Water quality	(0.061,0.094,0.156)	0.101
Speed of implementation	(0.059, 0.091, 0.147)	0.097

مقادیر p و q با نظر کارشناسی مدیریت تامین آب شرب شهر تهران در شرایط اضطرار تعیین شد و با تابع عضویت و قضاوت مهندسی به اعداد فازی مثلثی تبدیل شد. ماتریس تصمیم و نتایج حاصله در جدول ۴ آمده است.

۴-۳- تعیین توابع ارجحیت

یکی از نقاط قوت روش PROMETHEE II این است که اختیار انتخاب تابع ارجحیت متناسب با ماهیت هر معیار را به تصمیم گیرنده می‌دهد. در این پژوهش چون تصمیم گیرنده برای همه معیارها، آستانه ترجیح و بی‌تفاوتی تعریف کرده است، تابع نوع ۵ که در آن هم آستانه بی‌تفاوتی و هم آستانه ترجیح و هم اختلاف بین این دو در نظر گرفته شده، بهترین انتخاب است. به‌دلیل این که این اعداد به شکل فازی تعریف شده‌اند، تابع ارجحیت نیز به شکل فازی طبق معادلات ۹، ۱۰ و ۱۱ تعریف می‌شود. نمونه‌ای از تعیین تابع اولویت فازی برای سناریوی (A1) در جدول ۵ دیده می‌شود. باقی مقایسه‌ها نیز به این صورت انجام شد.

۴-۴- محاسبه جریان خالص فازی

در گام چهارم جریان ورودی و خروجی و خالص طبق معادلات ۱۲، و ۱۳ و ۱۴ محاسبه شد. نتایج در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۴- ماتریس تصمیم گیری فازی

Table 4. The fuzzy decision matrix

Decision matrix	C1			C2			C3			C4			C5		
Upper, middle and lower fuzzy numbers	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
A1	7.5	5.5	3.75	7.25	5.25	3.25	8	6	4	7	5	3	6.25	4.25	2.5
A2	6.5	4.5	3	8.5	6.5	4.5	7.5	5.5	3.5	7.75	5.75	3.75	8	6	4
A3	9.25	7.25	4.75	8.5	6.5	4.5	7	5	3	9	7	5	7.25	5.25	3.25
A4	6	4	2.25	7	5	3	8	6	4.5	7.5	5.5	3.5	7.5	5.5	3.75
A5	7	5	3	6.25	4.25	3	8.75	6.75	4.75	8.5	6.5	4.5	7.75	5.75	4
A6	6.5	4.5	2.5	9.5	7.5	5.75	8.75	6.75	4.75	6.25	4.25	2.5	9	7	5
A7	8.5	6.5	4.5	7.5	5.5	3.5	7.75	5.75	3.75	6	4	2.5	8.5	6.5	4.5
A8	9	7	5	7.5	5.5	3.5	7.25	5.25	3.25	6.5	4.5	3.25	9.5	7.5	5.5
A9	8.25	6.25	4.25	7.25	5.25	3.5	7.25	5.25	3.25	9.25	7.25	5.25	7	5	3
A10	8.25	6.25	4.5	9.25	7.25	5.5	8	6	4.5	8.75	6.75	4.75	8.5	6.5	4.5
Fuzzy weight	0.51	0.33	0.21	0.14	0.09	0.06	0.43	0.28	0.18	0.31	0.20	0.12	0.15	0.09	0.06
Indifference threshold	1.2	0.8	0.4	1.2	0.8	0.4	1.2	0.8	0.4	1.2	0.8	0.4	1.2	0.8	0.4
Preference threshold	2.8	2.4	2	2.8	2.4	2	2.8	2.4	2	2	1.6	1.2	2	1.6	1.2

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

جدول ۵- یک نمونه از تعیین تابع اولویت فازی

Table 5. An example of fuzzy preference functions

A1	C1			C2			C3			C4			C5		
	$up_{ii',j}$	$mp_{ii',j}$	$lp_{ii',j}$	$up_{ii',j}$	$mp_{ii',j}$	$lp_{ii',j}$	$up_{ii',j}$	$mp_{ii',j}$	$lp_{ii',j}$	$up_{ii',j}$	$mp_{ii',j}$	$lp_{ii',j}$	$up_{ii',j}$	$mp_{ii',j}$	$lp_{ii',j}$
A2	1	0	0	1	0.642	0	1	0.225	0	1	0	0	0	1	1
A3	1	0.222	0	1	0.642	0	1	0	0	1	0.9	0	0	1	1
A4	0.722	0	0	1	0	0	1	0.475	0	1	0	0	0	1	1
A5	1	0	0	1	0	0	1	0.85	0	1	0.4	0	0	1	1
A6	1	0	0	1	1	0	1	0.85	0	1	0	0	0	0	1
A7	1	0	0	1	0	0	1	0.35	0	1	0	0	0	0.666	1
A8	1	0.083	0	1	0	0	1	0.1	0	1	0	0	0	0	1
A9	1	0	0	1	0	0	1	0.1	0	1	1.15	0	0	1	1
A10	1	0	0	1	1	0	1	0.475	0	1	0.65	0	0	0.666	1

جدول ۶- جریانات فازی

Table 6. Fuzzy flows

	$\widehat{phi}_i^+$			$\widehat{phi}_i^-$			$\widehat{phi}_i^{net}$		
Alternatives	$u\emptyset_i^+$	$m\emptyset_i^+$	$l\emptyset_i^+$	$u\emptyset_i^-$	$m\emptyset_i^-$	$l\emptyset_i^-$	$u\emptyset_i^{net}$	$m\emptyset_i^{net}$	$l\emptyset_i^{net}$
A1	1.102	0.125	0.148	1.003	0.338	0.168	0.933	-0.213	-0.855
A2	1.104	0.149	0.187	1.015	0.198	0.168	0.935	-0.048	-0.828
A3	1.130	0.436	0.187	0.967	0.013	0.151	0.979	0.423	-0.828
A4	1.003	0.149	0.187	1.015	0.278	0.163	0.840	-0.128	-0.828
A5	1.095	0.194	0.187	1.013	0.139	0.168	0.926	0.054	-0.825
A6	1.095	0.085	0.187	0.974	0.375	0.168	0.926	-0.290	-0.786
A7	1.099	0.144	0.187	1.002	0.200	0.168	0.931	-0.056	-0.814
A8	1.127	0.177	0.167	0.953	0.276	0.168	0.959	-0.099	-0.785
A9	1.123	0.382	0.187	0.919	0.033	0.139	0.983	0.349	-0.805
A10	1.131	0.272	0.187	0.975	0.052	0.168	0.962	0.221	-0.788

۴-۵- غیرفازی کردن جریان خالص

در نهایت با غیرفازی‌سازی جریان‌های خالص به‌دست آمده با استفاده از معادله ۱۵، رتبه‌بندی سناریوها انجام شد (جدول ۷).

همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است، بیشترین رتبه را سناریوی تقویت پدافند غیر عامل در سیستم‌های تأمین و انتقال و توزیع (A3) دریافت کرده است. زیرا این شبکه‌ها به‌خصوص در تهدیدات خرابکاری و تروریستی به‌شدت آسیب پذیرند. از طرفی در بحران‌های طبیعی نیز امکان آسیب‌پذیری سیستم توزیع آب وجود دارد، پس قبل از هر اقدامی باید پیشگیری لازم در برابر

جدول ۷- رتبه‌بندی نهایی سناریوها

Table 7. The final ranking of scenarios

Scenarios	Net flow	Rank
A1	-0.045	9
A2	0.0198	7
A3	0.192	1
A4	-0.038	8
A5	0.052	4
A6	-0.050	10
A7	0.020	6
A8	0.025	5
A9	0.176	2
A10	0.132	3

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.133679.2692
Archive of SID

حملات دشمن صورت پذیرد. طراحی شبکه توزیع آب شهری باید به‌گونه‌ای باشد که در شرایط بحران و اضطرار آب مورد نیاز شهری تأمین شود و تخریب یا آلودگی قسمتی از شبکه باعث از کار افتادن تمام شبکه نشود. چون در این صورت به نحوی تمام شهر از جمله مراکز حیاتی و حساس قادر به ادامه فعالیت نمی‌باشند. پس از آن سناریوی مدیریت مصرف و ایجاد فرهنگ صرفه‌جویی و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری(A9) به‌عنوان دومین سناریوی انتخابی است، زیرا فرهنگ‌سازی در خصوص همکاری مردم در دریافت آب و استفاده آن به‌خصوص در شرایط اضطراری از جمله مسائل مهم است زیرا لازمه اجرای درست همه طرح‌ها و سناریوها آن است که با شرایط فرهنگی و مسائل اجتماعی تطبیق داده شود تا خروجی لازم را داشته باشد.

سومین سناریوی انتخابی، قرارداد با شرکت تولید آب بسته بندی(A10) است، زیرا به گفته دبیر انجمن تولیدکنندگان آب‌های معدنی و آشامیدنی، این شرکت‌ها مقدار آب آشامیدنی مورد نیاز مردم را تا سه روز اول بحران به‌راحتی تأمین می‌کنند که برای روزهای اولیه بحران، رضایت اجتماعی را در بر دارد.

از طرفی سناریوی احداث و مکان‌سنجی مخازن اضطراری (A1) رتبه پایینی دریافت کرد زیرا این سناریو هم هزینه و بودجه زیادی احتیاج دارد، در حالی که معیار هزینه معیار مهمی برای تعیین سناریوهای پیش از بحران است، و هم از نظر سرعت اجرای طرح ضعیف است.

باید توجه داشت که در این پژوهش سناریوها با در نظر گرفتن همه بحران‌ها و تهدیدات موجود همانند سیل، زلزله و حملات تروریستی انتخاب شدند. در واقع پژوهش به‌صورت کلان و کلی انجام شد که هر کدام از سناریوها می‌توانند برای شرایط پیش از بحران اجرا شوند و برای شرایط اضطراری استفاده شوند.

هم اکنون شرکت آبفای تهران فقط برای بحران زلزله اقدام به ساخت مخازن اضطراری کرده است که ممکن است در باقی بحران‌ها، این سناریو پاسخگو نباشد و چون تهدیداتی همچون حملات تروریستی و غیره در انتخاب سناریوها مؤثر هستند، به‌همین دلیل احداث مخازن اضطراری تحت تاثیر قرار می‌گیرد و رتبه پایین آن در ماتریس تصمیم‌گیری به همین دلیل و همچنین هزینه بالای آن است.

باید به این نکته نیز توجه داشت که مدل PROMETHEE II فازی، سناریوها را اولویت‌بندی و رتبه‌بندی می‌کند به این معنی که بهتر است این سناریوها به‌ترتیب اولویت انجام شوند و رتبه پایین در این مدل به معنی غیر قابل اجرا بودن آن سناریو نیست. یعنی سناریوهای دیگر، صرفاً نسبت به این سناریو برتری دارند. حال آنکه شرکت آبفا در حال اجرای اکثریت سناریوهای گفته شده در این پژوهش است.

۵- نتیجه‌گیری

مدل ارائه شده در این پژوهش با توجه به مطالب گفته شده و اهمیت زیاد مدیریت تأمین و توزیع آب شرب شهر تهران در شرایط پیش از بحران، این امکان را می‌دهد تا هم تجمیع نظرات همه صاحب‌نظران و کارشناسان و هم تأثیر معیارهای مختلف بر سناریوهای پیش از بحران به‌خصوص زلزله در یک محیط فازی که عدم قطعیت‌های موجود در نظرات کارشناسی و ماهیت مدیریت ریسک نیز لحاظ می‌شود، به‌صورت همزمان تحلیل شود و سناریوها رتبه‌بندی شوند و به‌عنوان دستورالعملی مطمئن در اختیار کارشناسان مربوطه قرار گیرند. هدف از این پژوهش آن است که نتایج آن به شرکت آب و فاضلاب تهران در امر مدیریت تأمین و توزیع آب شرب شهر کمک کند. در این پژوهش با همکاری کارشناسان شرکت آب و فاضلاب استان تهران، ۵ معیار و ۱۰ سناریوی مدیریت تأمین آب انتخاب شد. همچنین مقدار وزن معیارها و امتیاز هر سناریو نسبت به هر معیار با متغیرهای زبانی با استفاده از نظر کارشناسان تعیین شد. بر اساس نتایج حاصل، سناریوهای مدیریت تأمین آب شرب پیش از بحران رتبه‌بندی شدند و از آن‌ها می‌توان به‌عنوان راهکاری مناسب در شرایط اضطرار استفاده کرد زیرا هم معیارهای مهمی مانند قابلیت اطمینان تأمین آب و هزینه اجرا در نظر گرفته شده و هم تجمیع نظرات کارشناسان بخش‌های مختلف در نتایج مدل دخیل هستند.

از نتایج این پژوهش می‌توان برای اولویت‌بندی تخصیص بودجه برای اجرای این سناریوها نیز استفاده نمود. همچنین روش پیشنهادی در این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزی سناریوهای حین بحران و پس از بحران و برای دیگر شهرهای پرجمعیت و مهم کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد.

www.SID.ir

۶- قدردانی

به‌این وسیله از مسئولان و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب استان تهران و شرکت تأمین و تصفیه استان تهران که در فراهم نمودن اطلاعات لازم برای انجام این پژوهش همکاری نمودند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

References

Adachi, T. & Ellingwood, B. R. 2008. Serviceability of earthquake-damaged water systems: effects of electrical power availability and power backup systems on system vulnerability. *Reliability Engineering and System Safety*, 93**,** 78-88.

Bagheri, A., Darijani, M., Asgary, A. & Morid, S. 2010. Crisis in urban water systems during the reconstruction period: a system dynamics analysis of alternative policies after the 2003 earthquake in Bam-Iran. *Water Resources Management*, 24**,** 2567-2596.

Brans, J.-P., Vincke, P. & Mareschal, B. 1986. How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24, 228-238.

Daneshvar, M. 2011. Drinking Water Management of Tehran city in crisis conditions. MSc Thesis, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (In Persian)

Ezaryan, M. 2017. Review of the management of supply of drinking water in emergencies. *The First International Conference on Oil, Gas, Petrochemicals and HSE*, Hamedan, Iran. (In Persian)

Fontana, M. & Morais, D. 2013. Using promethee V to select alternatives so as to rehabilitate water supply network with detected leaks. *Water Resources Management*, 27**,** 4021-4037.

Gogus, O. & Boucher, T. O. 1998. Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 94**,** 133-144.

Hajkowicz, S. & Higgins, A. 2008. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research*, 184**,** 255-265.

Hsieh, T.-Y., LU, S.-T. & Tzeng, G.-H. 2004. Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. *International Journal of Project Management*, 22**,** 573-584.

Kariuki, S. & Lowe, K. 2007. Integrating human factors into process hazard analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 92**,** 1764-1773.

Kodikara, P. N., Perera, B. & Kularathna, M. 2010. Stakeholder preference elicitation and modelling in multi-criteria decision analysis–A case study on urban water supply. *European Journal of Operational Research*, 206**,** 209-220.

Kuang, H., Hipel, K. W. & Kilgour, D. M. 2012. Evaluation of source water protection strategies in Waterloo Region based on Grey Systems Theory and PROMETHEE II. Systems, Man, and Cybernetics (SMC). *IEEE International Conference on, IEEE*, Miyazaki, Japan, 2775-2779.

Le Teno, J. & Mareschal, B. 1998. An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products' design with ill-defined data on environmental quality. *European Journal of Operational Research*, 109**,** 522-529.

Liu, C. P. & Sheu, B. H. 2007. Effects of the 921 earthquake on the water quality in the upper stream at the Guandaushi experimental forest. *Water, Air, and Soil Pollution*, 179**,** 19-27.

Lolli, F., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B., Ferrari, A. M., Marinelli, S. & Savazza, R. 2016. Waste treatment: an environmental, economic and social analysis with a new group fuzzy PROMETHEE approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18**,** 1317-1332.

Malekmohammadi, B., Nazariha, M. & Hesari, N. 2013. Emergency response planning for providing drinking water in urban areas after natural disasters using multi criteria decision making methods. *13th E., of the World Wide Workshop for Young Environmental Scientists (WWW-YES-2013)-Urban waters: resource or risks*?, HAL-ENPC.

www.SID.ir

Archive of SID

Motevallian, S. S., Tabesh, M. & Roozbahani, A. 2014. Sustainability assessment of urban water systems: a case study. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, Thomas Telford Ltd. London.

Nasiri, H., Boloorani, A. D., Sabokbar, H. A. F., Jafari, H. R., Hamzeh, M. & Rafil, Y. 2013. Determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge via an integrated PROMETHEE II-AHP method in GIS environment (case study: Garabaygan Basin, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185**,** 707-718.

Patil, S. K. & Kant, R. 2014. A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of knowledge management adoption in supply Chain to overcome its barriers. *Expert Systems with Applications*, 41**,** 679-693.

Roozbahani, A. & Zahraie, B. 2009. Promethee group decision-making methods in management of water supply infrastructure. *The National Conference on Engineering and Infrastructure Management*, University of Tehran, Iran. (In Persian)

Roozbahani, A., Zahraie, B. & Tabesh, M. 2012. PROMETHEE with precedence order in the criteria (PPOC) as a new group decision making aid: an application in urban water supply management. *Water Resources Management*, 26**,** 3581-3599.

Roozbahani, A., Zahraie, B. & Tabesh, M. 2013. Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27**,** 923-944.

Rose, A. & Liao, S. Y. 2005. Modeling regional economic resilience to disasters: a computable general equilibrium analysis of water service disruptions. *Journal of Regional Science*, 45**,** 75-112.

Saaty, T. L. 1980. *The analytical hierarchy process, planning, priority*, Resource Allocation. RWS Publications, USA.

Salehi, S., Jalili Ghazizadeh, M.R,, & Tabesh, M. 2018. A comprehensive criteria-based multi-attribute decision-making model for rehabilitation of water distribution systems. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(6)**,** 743-765.

Segrave, A. A., van der Zouwen, M.M. & van Vierssen, W.W. 2014. Water planning: from what time perspective?. *Technological Forecasting and Social Change*, 86**,** 157-167.

Sugneo, M. 1985. An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences*, 36**,** 59-83.

Tlili, Y. & Nafi, A. 2012. A practical decision scheme for the prioritization of water pipe replacement. *Water Science and Technology: Water Supply*, 12**,** 895-917.

Vulevic, T. & Dragovic, N. 2017. Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method. *International Soil and Water Conservation Research*, 5**,** 50-55.

Wang, Y. & Au, S.-K. 2009. Spatial distribution of water supply reliability and critical links of water supply to crucial water consumers under an earthquake. *Reliability Engineering and System Safety*, 94**,** 534-541.

Yazdani, M. & Sayedin, A. 2017. Investigating the vulnerability of the city from the perspective of passive defense (Case study: Ardabil city). *Journal of Geographical Information*, 25**,** 17-34.

Yuen, K. & Ting, T. 2012. Textbook selection using fuzzy PROMETHEE II method. *International Journal of Future Computer and Communication*, 1, doi: 10.7763/IJFCC. 2012. V1 ZO.

Zadeh, L. A. 1996. Fuzzy logic: computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4**,** 103-111.

Zarghami, M. & Ehsani, I. 2011. Evaluation of different group multi-criteria decision making methods in selection of water transfer projects to urmia lake basin. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 2 (20)**,** 1-14.

www.SID.ir