

انتخاب سناریوهای مدیریت تأمین آب شرب شهر تهران در شرایط بحران با استفاده از

روش تصمیم‌گیری چند معیاره PROMETHEE V

مهسا قندی^۱، عباس روزبهانی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

mahsa.ghandi@ut.ac.ir

۲- استادیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

roozbahany@ut.ac.ir

چکیده

روش‌های مدیریت تأمین آب شرب در شرایط پیش از بحران در ایران که در منطقه کم آب خاورمیانه قرار گرفته موضوعی حائز اهمیت است و در تهران به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران اهمیتی دوچندان دارد. در خطرات طبیعی و غیرطبیعی مختلفی از جمله زلزله، خشک‌سالی، سیل، حملات تروریستی و آلودگی آب بیشترین آسیب به سیستم‌های تأمین آب شهری وارد می‌شود. انتخاب راهکارهای مؤثر توسط تصمیم‌گیرندگان متخصص قبل از وقوع این بحران‌ها می‌تواند تا حد زیادی این آسیب را کاهش دهد، علاوه بر این به حداقل رساندن هزینه‌ها در انتخاب این راهکارها بسیار مهم می‌باشد چراکه سازمان‌های مرتبط با بحث مدیریت بحران دارای بودجه محدودی هستند. در این مقاله از روش تصمیم‌گیری چند معیاره PROMETHEE V برای انتخاب مجموعه‌ای از سناریوهای ممکن برای مدیریت تأمین آب شرب در شرایط پیش از بحران از بین ۱۰ سناریوی منتخب توسط نظر کارشناسان برای شهر تهران و با در نظر گرفتن معیارهای مؤثر و محدودیت بودجه تعیین شده توسط تصمیم‌گیرنده استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سناریوهای تقویت پدافند غیرعامل در سیستم‌های تأمین و انتقال و توزیع، مدیریت مصرف و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری، برنامه‌ریزی جهت استفاده از نیروهای مردمی و برگزاری مانور و تعبیه برق اضطراری برای تأسیسات آب‌رسانی از جمله سناریوهای قابل اجرا در این روش که بیشترین اولویت را دارند، هستند.

واژه‌های کلیدی: بحران، تأمین آب شرب شهر تهران، PROMETHEE V، تصمیم‌گیری چند معیاره، مدیریت ریسک.

۱- مقدمه

تأمین پیوسته آب آشامیدنی همواره از مهم‌ترین دغدغه‌های جوامع و ملل مختلف بوده است. سیستم تأمین آب آشامیدنی بی‌تردید یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حیاتی است که در معرض گستره وسیعی از ریسک‌ها قرار دارد و بسیار آسیب‌پذیر است. از یک سو با توجه به اهمیت فراوان این سیستم به‌منزله یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حیاتی و از سوی دیگر با توجه به احتمال بالای وقوع بحرانی همچون زلزله و حملات تروریستی در نقاط مختلف ایران از جمله در کلان‌شهرها، ضرورت انجام تحلیل ریسک این سیستم‌ها برای شرایط بحرانی و همچنین اتخاذ راهکارهای مناسب برای کاهش ریسک آن‌ها، بیش‌ازپیش احساس می‌شود و ارائه یک ساختار سیستماتیک تصمیم‌گیری و انتخاب سناریوهای مدیریتی مناسب برای تأمین آب قبل از بحران‌ها و اتخاذ رویکرد مناسب ضروری است. بدین ترتیب مدیریت تأمین آب شهری بخصوص برای شهر تهران به دلیل جمعیت بالا، محدودیت منابع آبی، زلزله‌خیزی، خشک‌سالی‌ها، سیل، عدم مدیریت صحیح مصرف و آلودگی منابع زیرزمینی و غیره که پتانسیل وقوع بحران آبی را داراست، امری مهم و پیچیده است به همین دلیل این مقاله برای شهر تهران انجام شد.

از جمله مطالعات گذشته در زمینه مدیریت ریسک و تأمین آب شرب در شرایط بحران‌های مختلف برای شهرها و کشورها می‌توان به مطالعه (2005) Abrishamchi et al. اشاره کرد که با استفاده از روش برنامه‌ریزی سازشی، گزینه‌های مختلف تأمین آب شهری زاهدان در ایران را جهت مقابله با مشکل ریسک کمبود آب در آینده رتبه‌بندی کردند. Kansal and Tyagi (2009) در مطالعه‌شان به بررسی ایمنی طرح‌های تأمین آب در برابر بحران‌ها در کشورهای در حال توسعه مانند هند پرداختند و نتیجه گرفتند که اقدامات مورد نظر در زمینه ایمنی طرح‌های آب‌رسانی باید در تمام مراحل چرخه حیات مدیریت بحران شامل پاسخ، بهبود، کاهش، پیشگیری و آمادگی انجام شود. روزبهانی و همکاران (۱۳۸۹) از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شبکه‌های آب‌رسانی برای انتخاب بهترین سناریوهای تصمیم‌گیری جهت افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های منابع آب و کاهش ریسک استفاده کرده‌اند. در نهایت Aihara et al. (2018) انعطاف‌پذیری سیستم‌های تأمین آب پس از زلزله سال ۲۰۱۵ در نپال را با استفاده از پرسشنامه و داده‌های کیفی بررسی کردند که نتایج نشان داد کیفیت و کمیت آب به هنگام زلزله کاهش یافته و توصیه کردند که برای کاهش اثرات نامطلوب بلایای طبیعی زیرساخت‌های سیستم‌های تأمین آب باید تقویت گردد.

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) شاخه‌ای از علم تصمیم‌گیری هستند که با استفاده از تلفیق روابط ریاضی و استدلال عقلی، فرآیند تصمیم‌گیری را برای مدیران، کارشناسان و بهره‌برداران از سیستم‌های پیچیده‌ای مانند سیستم‌های تأمین آب تسهیل می‌کنند و روش PROMETHEE V از مجموع روش‌های خانواده PROMETHEE، یکی از روش‌های مناسب از بین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. مطالعاتی در زمینه کاربرد روش PROMETHEE در مسائل منابع آب انجام شده است که برخی از آن‌ها شامل مطالعه (1995) Abu-Taleb and Mareschal است که اولین مقاله را در مورد کاربرد روش PROMETHEE در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب برای یک پروژه تخصیص منابع آب ارائه دادند، آن‌ها با استفاده از روش PROMETHEE V و PROMETHEE II به ارزیابی و انتخاب انواع گزینه‌های توسعه منابع آب که به صورت بالقوه امکان‌پذیر است پرداختند. سپس (2007) Morais and De Almeida روش PROMETHEE V را برای تصمیم‌گیری گروهی مدیریت نشت در شبکه‌های آب‌رسانی به وسیله گزینه‌های سازهای و غیر سازهای به کار گرفتند. همچنین (2013) Fontana and Morais از روش PROMETHEE V برای انتخاب سناریوهای کاهش نشت آب استفاده کردند. (2018) Cambrainha and Fontana نیز برای اولویت‌بندی سناریوهای تقاضا و عرضه آب در دوره‌های کمبود آب از روش PROMETHEE V استفاده کردند و محدودیت این مدل را بودجه تعریف کردند. در این مقاله با بهره‌گیری از روش PROMETHEE V سناریوهای مدیریت ریسک تأمین آب شرب در شرایط بحرانی با لحاظ کردن محدودیت بودجه در قالب یک مدل بهینه‌سازی و با در نظر گرفتن نظرات کارشناسان و معیارهای مختلف انتخاب می‌شود که در هیچ‌یک از مطالعات گذشته این کار صورت نگرفته است.

۲- روش تحقیق

در این مقاله هدف انتخاب گزینه‌های مدیریت تأمین آب شرب شهر تهران در شرایط پیش از بحران با روش PROMETHEE V و بر مبنای مجموعه معیارهای مؤثر و محدودیت‌های موجود است. ابتدا در این قسمت شهر تهران و سیستم‌های تأمین آب شرب آن به اختصار معرفی می‌گردد، سپس سناریوها و معیارهای برگزیده برای شهر تهران معرفی می‌گردد و در آخر سازوکار روش PROMETHEE V شرح داده می‌شود.

۲-۱ معرفی منطقه مورد مطالعه

تهران بزرگ‌ترین شهر و پایتخت ایران با مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع و بر اساس آخرین سرشماری جمعیت آن حدود ۸/۵ میلیون نفر است. منابع آب شیرین تجدیدشونده کشور حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب است که از این مقدار سهم استان تهران ۴/۲ میلیارد مترمکعب است که با توجه به تراکم جمعیتی بالای این استان نشان از محدودیت منابع آب در این استان و خصوصاً شهر تهران که مرکز تجمع جمعیت می‌باشد، دارد. به‌طور کلی منابع تأمین‌کننده آب شهر تهران به شرح زیر است:

شهر تهران دارای ۶ منطقه آب و فاضلاب شهری است و هر منطقه از منابع آب‌های سطحی شامل جاجرود، رود لار، حبله رود، رود سولقان و گلاب دره و چاه‌های زیرزمینی برای تأمین آب شرب خود استفاده می‌کند. آب موردنیاز شهر تهران از منابع سطحی شامل آب سدهای کرج و طالقان (سامانه غرب تهران) و لار و لتیان (سامانه شرق تهران) و منابع زیرزمینی شامل چاه‌های حاشیه رودخانه جاجرود و چاه‌های عمیق شهر تهران تأمین می‌شود. تهران دارای ۵ تصفیه‌خانه شامل تصفیه‌خانه جلالیه، کن، سوهانک و ۲ تصفیه‌خانه در تهران پارس است که آب آن از سد امیرکبیر، لار، لتیان و طالقان و ماملو تأمین می‌شود از طرف دیگر در تهران ۵۰۰ حلقه چاه وجود دارد که ۳۰ درصد منابع آب پایتخت از این راه تأمین می‌شود. همچنین این شهر دارای مخازن ذخیره آب از جنس بتنی و فولادی است که طبق آخرین آمار ۶۹ مخزن تهران در مدار است که مجموعاً دارای حجمی بالغ بر ۲ میلیون مترمکعب هستند و در حال حاضر در حدود ۷۰۰ کیلومتر خط انتقال آب و بیش از ۱۰ هزار کیلومتر خط توزیع آب در تهران وجود دارد.

۲-۲ معرفی معیارها و سناریوهای شهر تهران

گردآوری اطلاعات در این قسمت از طریق پرسشنامه صورت گرفت و به روش تصمیم‌گیری گروهی معیارها و سناریوها انتخاب شدند که در مجموع ۱۰ سناریو و ۵ معیار انتخاب شد که خلاصه آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- معرفی معیارها و سناریوهای برگزیده

سناریوها	منابع	معیارها
احداث و مکان‌سنجی مخازن ذخیره آب‌رسانی اضطراری (A1) افزایش ایمنی کپسول‌های کلروتغییرسیستم کلرزنی (A2) تقویت پدافند غیرعامل در سیستم‌های تأمین و انتقال و توزیع (A3)	Wang & Au, 2013	قابلیت اطمینان تأمین مقدار آب (C1)
تهیه تانکرهای آب جهت استفاده برای آب‌رسانی اضطراری (A4) برنامه‌ریزی جهت استفاده از نیروهای مردمی و برگزاری مانور (A5)	Zarghami & Ehsani, 2011	سرعت و سهولت اجرا (C2)
تهیه سیستم‌های تصفیه آب قابل حمل (A6) تعبیه برق اضطراری برای تأسیسات آب‌رسانی (A7) اصلاح و بازسازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب (A8) مدیریت مصرف و ایجاد فرهنگ صرفه‌جویی و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری (A9) قرارداد با شرکت تولید آب بسته‌بندی (A10)	Rose & Liao, 2005	هزینه پیاده‌سازی طرح (C3)
	Kariuki & Löwe, 2007	رضایت اجتماعی و مشارکت عمومی (C4)
	Malekmohammadi et al. 2013 Liu & Sheu, 2007	کیفیت آب در دسترس (C5)

۲-۳- PROMETHEE V روش

روش PROMETHEE V شامل دو مرحله است، مرحله اول: در نظر گرفتن مسئله بدون محدودیت و حل آن و رتبه‌بندی و اولویت‌بندی سناریوها با روش PROMETHEE II و مرحله دوم: در نظر گرفتن محدودیت‌ها و حل مسئله بر اساس یک برنامه‌ریزی خطی صفر و یک است که در آن تابع هدف به حداکثر رساندن امتیاز مجموع جریان خالص از اقدامات انتخاب‌شده است (Abu-Taleb and Mareschal, 1995). گام‌های روش حل PROMETHEE V و انتخاب سناریوهای مؤثر در تأمین آب شرب شهر تهران به شرح زیر است:

در مرحله اول که اولویت‌بندی سناریوها به روش PROMETHEE II است، ابتدا معیارهای مؤثر انتخاب می‌شوند سپس تعیین وزن معیارها امری مهم است که با روش‌های مختلف قابل محاسبه است و مجموع وزن معیارها در این روش ۱ می‌شود. وزن معیارها در این مقاله با تجمیع نظرات و پرسشنامه و با روش تحلیل سلسله مراتبی زوجی (AHP) به دست می‌آید.

۲-۳-۱- وزن دهی به روش AHP

در این مقاله برای تعیین وزن معیارها از روش AHP استفاده شد، گام‌های این روش در زیر آورده شده است. فرض شود P_{ij} مجموعه‌ای از ترجیحات تصمیم‌گیران در مورد معیار i نسبت به j باشد. ماتریس مقایسات زوجی طبق رابطه ۱ تشکیل می‌شود.

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

که 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 هر معیار ماتریس مقایسات زوجی به وسیله روش میانگین هندسی به دست می‌آید. میانگین هندسی ارزش مقایسات معیار i نسبت به j از رابطه ۲ بدست می‌آید به عبارتی از این رابطه، میانگین هندسی هر سطر در ماتریس ادغام نظرات تشکیل شده محاسبه می‌شود که در آن r_i میانگین هندسی معیار i و n تعداد معیارها است.

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

سپس وزن معیار w_i از رابطه ۳ بدست می‌آید.

$$w_i = r_i \otimes (r_1 \oplus r_2 \oplus \dots \oplus r_m)^{(-1)} \quad (3)$$

در این پژوهش جهت محاسبه وزن در مقایسات زوجی، از عبارات کلامی و اعداد جدول ۱ استفاده شده است.

جدول ۱- مقیاس ساعتی برای مقایسه زوجی (saaty,1980)

تعریف	میزان اهمیت
اهمیت یکسان	1
اهمیت اندکی بیشتر	3
اهمیت بیشتر	5
اهمیت خیلی بیشتر	7
اهمیت مطلق	9
مقادیر بینابین	2,4,6,8

۲-۳-۲- شرح روش

پس از تعیین وزن معیارها مراحل حل روش PROMETHEE V به طور مختصر به شرح زیر است:
فرض کنید A مجموعه‌ای از سناریوها است که باید از میان آن‌ها انتخاب صورت گیرد. با فرض وجود k معیار مؤثر در تصمیم‌گیری، برای هر گزینه $A \in a$ ، مقدار $f_j(a)$ نشان‌دهنده ارزش معیار j ام در گزینه a است. تعیین جریان خالص در سه گام انجام می‌شود:

گام اول: تابع ترجیح P_j به هر یک از معیارهای j اختصاص داده می‌شود. مقدار $P_j(a,b)$ برای هر زوج گزینه محاسبه می‌شود. این مقدار بین صفر و یک متغیر است. اگر رابطه $f_j(a) = f_j(b)$ برقرار باشد، مقدار $P_j(a,b)$ صفر می‌شود و با افزایش $f_j(a) - f_j(b)$ این مقدار بیشتر می‌یابد و هنگامی که اختلاف به اندازه کافی زیاد شود، مقدار $P_j(a,b)$ هم به ۱ می‌رسد. شکل‌های مختلفی را می‌توان برای تابع P_j فرض کرد که به چگونگی مدل‌سازی معیارها j ام بستگی دارد. روش PROMETHEE، شش معیار تصمیم‌یافته برای تابع ترجیح را به تصمیم‌گیرنده پیشنهاد می‌کند (Brans et al. 1986).

گام دوم: میزان اولویت کلی $\pi(a,b)$ برای هر گزینه a بر روی گزینه b محاسبه می‌شود. هر چند میزان $\pi(a,b)$ بیشتر باشد، گزینه a ترجیح بیشتری دارد. $\pi(a,b)$ طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود که در این رابطه Wj وزن معیارهای بدست آمده از روش AHP است.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^k w_j p_j(a,b), (\sum w_j = 1) \quad (4)$$

گام سوم: $\pi(a,b)$ نشان‌دهنده درجه اولویت گزینه a نسبت به گزینه b است. برای محاسبه قدرت ترجیح کلی گزینه a به دیگر گزینه‌ها، جریان خروجی محاسبه می‌شود:
جریان رتبه‌بندی مثبت یا جریان خروجی:

$$\Phi^+(a) = \frac{\sum_{x \in A} \pi(a,x)}{n-1} \quad (5)$$

این جریان نشان می‌دهد که گزینه a چقدر بر سایر گزینه‌ها اولویت دارد. این جریان، در حقیقت، قدرت گزینه a است. بزرگ‌تری $\Phi^+(a)$ به معنای بهترین گزینه است. میزان ترجیح سایر گزینه‌ها بر گزینه a که جریان ورودی نامیده می‌شود، حاصل محاسبه زیر است:
جریان رتبه منفی یا جریان ورودی:

$$\Phi^-(a) = \frac{\sum_{x \in A} \pi(x, a)}{n-1} \quad (6)$$

این جریان نشان می‌دهد که سایر گزینه‌ها تا چه میزان بر گزینه a اولویت‌دارند این جریان، در حقیقت، ضعف گزینه a است. هر چه مقدار $\Phi^-(a)$ برای گزینه‌ای کمتر باشد نشان‌دهنده برتری آن گزینه است؛ بنابراین، با داشتن و بررسی جداگانه دو جریان Φ^+ و Φ^- می‌توان یک رتبه‌بندی جزئی را انجام داد (رتبه‌بندی PROMETHEE I). برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها باید جریان خالص رتبه‌بندی را برای هر گزینه تعریف نمود (PROMETHEE II).

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (7)$$

این جریان، حاصل توازن جریان‌های رتبه‌بندی مثبت و منفی است. جریان خالص بالاتر، نشان‌دهنده گزینه برتر است. Φ حاصل از رابطه (۷) ورودی تابع بهینه‌سازی در روش PROMETHEE V است.

در مرحله دوم روش PROMETHEE V نوشتن یک برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح است که جریان خالص محاسبه‌شده با روش PROMETHEE II ضرایب تابع هدف هستند و قیود مسئله طبق رابطه ۸ تعریف می‌شوند.

$$\max z = \sum_{i=1}^k \Phi(a_i) \times x_i, i = \{1, 2, 3, \dots, k\}$$

subjected to:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \times x_i (\leq \geq) \beta_j, j = \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (8)$$

که $\Phi(a_i)$ جریان خالص فازی محاسبه‌شده از رابطه ۷ برای سناریوی i ام، k تعداد کل سناریوها، λ_{ij} مقدار سناریوی i نسبت به محدودیت j و β_j حد بالای محدودیت j ، n تعداد کل محدودیت‌ها و x_i مقدار $[0, 1]$ متغیر تصمیم‌گیری است؛ بنابراین مسئله به شکل یک مسئله برنامه‌ریزی خطی می‌شود که هدف ماکسیمم کردن تابع هدف بر اساس محدودیت تعریف‌شده است و مقدار صفر و یک نشان‌دهنده این است که اگر سناریویی مقدار یک دریافت کرد قابل اجرا و اگر مقدار صفر دریافت کرد قابل اجرا نیست و حذف می‌گردد به این ترتیب مسئله برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار LINGO14 حل و سناریوهای مطلوب با لحاظ کردن محدودیت‌های تعریف‌شده انتخاب می‌شوند.

۳- نتایج و بحث

بر اساس توضیحات داده‌شده برای انتخاب سناریوها به روش PROMETHEE V در مرحله اول جریان خالص توسط PROMETHEE II محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از مراحل ذکر شده روش PROMETHEE V تحلیل و سناریوهای مطلوب انتخاب می‌شوند.

در گام اول وزن معیارها توسط خبرگان تعیین می‌شود. با تهیه پرسشنامه و تجمیع نظرات ۲۰ نفر از کارشناسان مربوط

به بخش مدیریت بحران و پدافند غیرعامل شرکت آب و فاضلاب تهران و شرکت تأمین و تصفیه استان تهران و اساتید دانشگاه وزن معیارها به دست آمد که در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- وزن معیارها

وزن	معیارها
۰/۳۳۲	قابلیت اطمینان تأمین مقدار آب (C1)
۰/۲۸۳	هزینه‌ی اجرای طرح (C3)
۰/۲۰۰	رضایت اجتماعی و مشارکت عمومی (C4)
۰/۰۹۴	کیفیت آب در دسترس (C5)
۰/۰۹۱	سرعت و سهولت اجرا (C2)

در گام بعد تعیین مقدار جریان خالص سناریوها صورت می‌گیرد. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار ویژوال پرومته انجام شده است. شکل ۱ ورودی اطلاعات را به نرم‌افزار ویژوال پرومته نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است بجز معیار هزینه پیاده‌سازی طرح بقیه معیارها ماکزیمم خواهد شد. بعد از ورود اطلاعات به نرم‌افزار، جریان مثبت و جریان منفی و جریان خالص در شکل ۲ آورده شده است. در ستون ϕ مقدار جریان خالص آورده شده است و هرچقدر جریان خالص بزرگ‌تر باشد نشان از برتری آن سناریو نسبت به دیگر سناریوها دارد.

Scenario1	C1	C2	C3	C4	C5
Unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group					
Preferences					
Min/Max	max	max	min	max	max
Weight	0,33	0,09	0,28	0,20	0,09
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
- P: Preference	2,40	2,40	2,40	1,60	1,60
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Minimum	4,00	4,25	5,00	4,00	4,25
Maximum	7,25	7,50	6,75	7,25	7,50
Average	5,67	5,85	5,83	5,65	5,92
Standard Dev.	1,08	0,99	0,57	1,13	0,93
Evaluations					
A1	5,50	5,25	6,00	5,00	4,25
A2	4,50	6,50	5,50	5,75	6,00
A3	7,25	6,50	5,00	7,00	5,25
A4	4,00	5,00	6,00	5,50	5,50
A5	5,00	4,25	6,75	6,50	5,75
A6	4,50	7,50	6,75	4,25	7,00
A7	6,50	5,50	5,75	4,00	6,50
A8	7,00	5,50	5,25	4,50	7,50
A9	6,25	5,25	5,25	7,25	5,00
A10	6,25	7,25	6,00	6,75	6,50

شکل ۱- ورودی اطلاعات در نرم‌افزار ویژوال پرومته

PROMETHEE Flow Table					
Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	A3	■	0,1968	0,3002	0,1035
2	A10	■	0,1732	0,2269	0,0536
3	A9	●	0,1659	0,2410	0,0751
4	A8	●	0,0992	0,2369	0,1377
5	A5	■	0,0972	0,2114	0,1142
6	A7	●	0,0070	0,1570	0,1500
7	A1	■	-0,1429	0,0573	0,2001
8	A2	■	-0,1699	0,0687	0,2385
9	A4	■	-0,2073	0,0755	0,2828
10	A6	●	-0,2194	0,1078	0,3272

شکل ۲- جریان ورودی و خروجی و خالص سناریوها

حال طبق مرحله دوم این روش که در نظر گرفتن محدودیت‌ها و حل مسئله بر اساس یک برنامه‌ریزی خطی صفر و یک است گزینه‌ها بررسی می‌شوند، بر اساس نظرات کارشناسی و تعیین راهکارهای مدیریت تأمین آب شرب پیش از بحران در این مقاله قید رابطه ۸ محدودیت بودجه تعریف می‌شود و اطلاعات هزینه سناریوها و این قید با نظر مدیر محترم بحران آب و فاضلاب استان تهران تعریف شده است. به این ترتیب مسئله برنامه‌ریزی خطی به شکل زیر تعریف می‌شود.

Maxz=

$$-0.1429a_1 - 0.1699a_2 + 0.1968a_3 - 0.2073a_4 + 0.0972a_5 - 0.2194a_6 + 0.0070a_7 - 0.0992a_8 + 0.1659a_9 + 0.1732a_{10}$$

subjected to :

$$0.179434a_1 + 0.073194a_2 + 0.014288a_3 + 0.034814a_4 + 0.023967a_5 + 0.086114a_6 + 0.023967a_7 + 0.42004a_8 + 0.020957a_9 + 0.123226a_{10} \leq 0.3$$

$$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10} = [0,1]$$

اگر مقدار متغیر تصمیم X_i یک باشد، یعنی سناریو قابل اجرا است و اگر مقدار آن صفر شود یعنی سناریو قابل اجرا نیست. چون تابع هدف ماکسیمم است هیچ سناریو منفی‌ای نباید وجود داشته باشد و ضریب منفی در اینجا به معنی این است که یک سناریو امتیاز بدتر از سایر سناریوها دریافت کرده است و باید به عنوان سناریوهایی که تحت محدودیت قرار می‌گیرند در تابع هدف باشند و حذف نشوند، برای حل این مشکل به تمام ضرایب تابع هدف عدد $1/2194$ (بزرگ‌ترین ضریب منفی $(0/2194)$ به اضافه ۱) اضافه می‌شود و تابع هدف جدید تشکیل می‌شود (Fontana, 2013).

Maxz=

$$1.0765a_1 + 1.0495a_2 + 1.4162a_3 - 1.0121a_4 + 1.3166a_5 + 1a_6 + 1.2124a_7 + 1.1202a_8 + 1.3853a_9 + 1.3926a_{10}$$

برای به دست آوردن تابع هدف با اعمال محدودیت‌ها از نرم‌افزار LINGO ورژن ۱۴ استفاده شد و نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی خطی در جدول ۳ آمده است. مطابق این جدول مقدار $z=8.39$ به دست آمد و سناریوها $A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ و A_9 قابل اجرا هستند.

جدول ۳- نتایج حاصل از روش PROMETHEE V

سناریوها	متغیرها	جواب حاصل از حل مدل
احداث و مکان‌سنجی مخازن ذخیره آب‌رسانی اضطراری	A1	0
افزایش ایمنی کپسول‌های کلر و تغییر سیستم کلرزی	A2	1
تقویت پدافند غیرعامل در سیستم‌های تأمین و انتقال و توزیع	A3	1
تهیه مخازن لاستیکی و تانکرهای آب جهت استفاده	A4	1
برنامه‌ریزی جهت استفاده از نیروهای مردمی و برگزاری مانور	A5	1
تهیه سیستم‌های تصفیه آب قابل حمل	A6	1
تعبیه برق اضطراری برای تأسیسات آب‌رسانی	A7	1
اصلاح و بازسازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب	A8	0
مدیریت مصرف و ایجاد فرهنگ صرفه‌جویی و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری	A9	1
قرارداد با شرکت تولید آب بسته‌بندی	A10	0

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳ سناریوهای افزایش ایمنی کپسول‌های کلر و تغییر سیستم کلرزی (A2)، پدافند غیرعامل در سیستم‌های تأمین و انتقال و توزیع (A3)، تهیه مخازن لاستیکی و تانکرهای آب جهت استفاده (A4)، برنامه‌ریزی جهت استفاده از نیروهای مردمی و برگزاری مانور (A5)، تهیه سیستم‌های تصفیه آب قابل حمل (A6)، تعبیه برق اضطراری برای تأسیسات آب‌رسانی (A7) و مدیریت مصرف و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری (A9) سناریوهای قابل اجرا در مدل PROMETHEE V هستند، اگر به نتایج حاصل از روش PROMETHEE II دقت شود از بین سناریوهای قابل اجرا سناریو پدافند غیرعامل در سیستم‌های تأمین و انتقال و توزیع (A3) بالاترین رتبه و سپس سناریو مدیریت مصرف و تشویق مردم برای ذخیره آب اضطراری (A9) رتبه سوم و سناریوهای برنامه‌ریزی جهت استفاده از نیروهای مردمی و برگزاری مانور (A5) و تعبیه برق اضطراری برای تأسیسات آب‌رسانی (A7) به ترتیب رتبه پنجم و ششم را با توجه به میزان جریان خالصشان کسب کرده‌اند. همچنین سناریوهای احداث و مکان‌سنجی مخازن ذخیره آب‌رسانی اضطراری (A1)، اصلاح و بازسازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب (A8) و قرارداد با شرکت تولید آب بسته‌بندی (A10) جزء سناریوهای غیرقابل اجرا با توجه به قید تعریف شده در روش PROMETHEE V هستند، حال آنکه اگر به نتایج رتبه‌بندی PROMETHEE II در شکل ۳ دقت شود این سه سناریو دارای رتبه بالایی هستند، پس نتایج حاصله از روش PROMETHEE V با توجه به تعریف محدودیت می‌تواند نتایج دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتری به تصمیم‌گیرندگان با توجه به محدودیت‌های ممکن ارائه دهد.

۴- نتیجه گیری

پس از بروز بحران‌های طبیعی و انسان‌ساز از جمله زلزله، سیل، خشک‌سالی، حملات تروریستی، آلودگی آب، یکی از مهم‌ترین مسائلی که باید مورد بررسی قرار گیرد تأمین آب شرب مورد نیاز مردم است. لذا در دست داشتن برنامه‌ای از پیش تعیین شده برای قبل از وقوع بحران‌ها برای تأمین آب مورد نیاز مردم امری ضروری است که در این پژوهش بدان پرداخته شد.

هدف از روش ارائه شده در این مقاله انتخاب سناریوهای مدیریت ریسک تأمین آب شرب شهر تهران در شرایط قبل از وقوع بحران با روش PROMETHEE V و با توجه به بودجه در دسترس در بحران‌های مختلف است که نتایج آن به شرکت آب و فاضلاب تهران در شرایط اضطرار کمک کند. در این مقاله ۵ معیار و ۱۰ سناریو تأمین آب در شرایط پیش از بحران برای شهر تهران انتخاب شد و با وزن دهی به معیارها مشخص شد که مهم‌ترین معیار، معیار «قابلیت اطمینان تأمین مقدار آب» و پس از آن با اندکی تفاوت معیار «هزینه اجرا طرح» در شرایط پیش از بحران می‌باشد.

نتایج حاصل از روش PROMETHEE V نشان می‌دهد که از سناریوهای قابل اجرا در این روش می‌توان به عنوان راهکاری مناسب در شرایط اضطرار استفاده کرد، زیرا این مدل هم‌زمان نظرات تصمیم‌گیرندگان و ذینفعان و تأثیر معیارهای مختلف بر سناریوهای پیش از بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی که منجر به قطع تأمین آب شرب برای کوتاه‌مدت یا بلندمدت می‌شود را در نظر می‌گیرد. همچنین محدودیت‌های ممکن را نیز می‌توان برای مدل تعریف کرد تا طبق محدودیت‌ها سناریوها انتخاب شوند.

به‌طور کلی روش ارائه شده توانایی رتبه‌بندی سناریوهای بحران‌های مختلف بر روی سیستم‌های تأمین آب در هر مکانی از کشور ایران و جهان را داراست و انتخاب سناریوهای کاربردی را قبل از بحران انجام می‌دهد تا در هنگام بحران تصمیم‌گیرندگان از دستورالعمل استفاده کرده و مدیریت بحران به نحو بهتری انجام شود.

۵- قدردانی

بدین‌وسیله از مسؤلان 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.

۶- مراجع

روزبهرانی، ع. زهرابی، ب. تابش، م. (۱۳۸۹)، "مدیریت ریسک در سیستم‌های تأمین آب شهری"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

Abrishamchi, A. Ebrahimian, A. Tajrishi, M. and Mariño, M.A., 2005. "Case study: application of multi criteria decision making to urban water supply". Journal of water resources planning and management, 131(4), 326-335.

Abu-Taleb, M. F. and B. Mareschal (1995). "Water resources planning in the Middle East: application of the PROMETHEE V multi criteria method." European journal of operational research 81(3), 500-511.

- Aihara, Y., Shrestha, S., Rajbhandari, S., Bhattarai, A.P., Bista, N., Kazama, F. and Shindo, J., 2018. "Resilience in household water systems and quality of life after the earthquake: a mixed-methods study in urban Nepal". *Journal of Water Policy* Uncorrected Proof, 1-14.
- Brans, J.P., Vincke, P. and Mareschal, B., 1986. "How to select and how to rank projects The PROMETHEE method". *European journal of operational research*, 24(2), 228-238.
- Cambraïna, G. M. and M. E. Fontana (2018). "A multi-criteria decision making approach to balance water supply-demand strategies in water supply systems." *Production* 28.
- Fontana, M. and D. Morais (2013). "Using Promethee V to select alternatives so as to rehabilitate water supply network with detected leaks." *Water resources management* 27(11), 4021-4037.
- Kansal, M. L. and A. Tyagi (2009). "Threat Perceptions and Risk Management in Urban Water Supply Schemes". *World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers*, pp.1-11
- Kariuki, S. and K. Löwe (2007). "Integrating human factors into process hazard analysis." *Reliability Engineering & System Safety* 92(12), 1764-1773.
- Liu, C. P. and B. H. Sheu (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(1-4), 19-27.
- Malekmohammadi, B., Nazariha, M. and Hesari, N., 2013, June. Emergency Response Planning for Providing Drinking Water in Urban Areas after Natural Disasters using Multi Criteria Decision Making Methods. In 13th edition of the World Wide Workshop for Young Environmental Scientists (WWW-YES-2013)-Urban waters: resource or risks? (No. 07). HAL-ENPC.
- Morais, D. C. and A. T. de Almeida (2007). "Group decision-making for leakage management strategy of water network." *Resources, Conservation and Recycling* 52(2), 441-459.
- Rose, A. and S. Y. Liao (2005). "Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions." *Journal of Regional Science* 45(1), 75-112.
- Saaty, T.L., 1980. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation*. New York: McGraw, 281.
- Wang, Y. and S.-K. Au (2009). "Spatial distribution of water supply reliability and critical links of water supply to crucial water consumers under an earthquake." *Reliability Engineering & System Safety* 94(2), 534-541.

Selection of Tehran drinking water supply management scenarios in crisis conditions using the PROMETHEE V Multi Criteria Decision Making Method

Mahsa Ghandi¹, Abbas Roozbahani^{*2}

1- MSc. student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran. Mahsa.Ghandi@ut.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran. roozbahany@ut.ac.ir

Abstract

Drinking water supply management in pre-crisis conditions in Iran, which is located in the Middle East arid region, is an important issue and it is more important in Tehran as the most populated city in Iran. Many different natural and unnatural disasters, including earthquakes, droughts, floods, terrorist attacks and water pollution, cause the greatest damages to the urban water supply networks. Choosing the effective strategies by expert decision makers before any of such events can greatly mitigate their consequences. It is also essential to minimize the strategy-related costs as urban crisis management organizations have limited budgets. In this paper, PROMETHEE V method presented to help decision-makers in selecting a set of possible alternatives among of 10 alternative proposed by experts for Tehran's drinking water supply management and based on the effective criteria and budget limitations determined by decision-makers of alternatives. The results were showed that strengthening passive defense in water supply, transmission, and distribution systems, providing water consumption management, encouraging people to store emergency water, planning to exploit popular forces, and performing maneuvers and emergency power supply for water utilities are the most feasible alternatives which have the highest ranks.

Keywords: Crisis, Tehran Drinking Water Supply, PROMETHEE V, Multi Criteria Decision Making. Risk Management.