

تعیین سیاست‌های بهره‌برداری بهینه کمی-کیفی از مخزن سد با تلفیق مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر منطق فازی و تئوری بازی‌ها: مطالعه موردی سد ۱۵ خرداد

سید محمد جواد شیرنگی^۱، حسین بابازاده^۲، احسان شیرنگی^۳* و علی صارمی^۴

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب و مشکلات کیفی مخزن سدها و همچنین حضور تصمیم‌گیران متعدد با مطلوبیت‌ها و اهداف متضاد، تصمیم‌گیری درباره تعیین مقدار برداشت متوسط ماهانه آب به‌طوری که مطلوبیت همه ذی‌نفعان تأمین شود، از موضوعات بسیار مهم برای بهره‌برداران از مخزن سدها محسوب می‌شود. در این تحقیق با تلفیق مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ELECTRE I و تئوری بازی‌ها یک روش جدید برای تعیین مقدار بهینه تخصیص کمی-کیفی آب مخزن سد با هدف افزایش مطلوبیت تصمیم‌گیران و کاهش تنش بین آن‌ها ارائه شده است. در این پژوهش ابتدا با شناسایی تصمیم‌گیران خبره ذی‌نفع در بهره‌برداری از مخزن سد و تعیین مطلوبیت آن‌ها، ارجحیت نقاط بهینه روی منحنی تبادل کمی و کیفی ارائه شده توسط محققان قبلی از دیدگاه هر یک از ذی‌نفعان و با توجه به پنج شاخص مختلف کمی، کیفی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، تعیین شد. در ادامه با استفاده از تئوری بازی‌ها نقطه مورد توافق ایشان روی منحنی تبادل مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد به‌دلیل استفاده از مدل تصمیم‌گیری با منطق فازی و در نظر گرفتن معیارهای مختلف، ترجیحات هر یک از تصمیم‌گیران به یکدیگر نزدیک شده و محدوده مورد نظر برای چانه‌زنی کوچک‌تر می‌شود و عملاً شانس رسیدن به توافق در مدت زمان کوتاه‌تر با استفاده از تئوری بازی‌ها افزایش می‌یابد. نتایج کاربرد روش تلفیقی پیشنهادی برای بهره‌برداری از مخزن سد ۱۵ خرداد ایران در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۶۸-۱۹۹۷)، نشان‌دهنده امکان توافق روی میزان تخصیص ماهیانه آب با کیفیت $TDS=1580$ میلی‌گرم بر لیتر با توجه به معیارهای تصمیم‌گیران و کاهش اختلاف بین ایشان است.

واژه‌های کلیدی: مدل تصمیم‌گیری الگوریتم فازی، بهره‌برداری مخزن سد، تئوری بازی‌ها، کیفیت آب، سد پانزده خرداد.

ارجاع: شیرنگی س. م. بابازاده ح. شیرنگی ا. و صارمی ع. ۱۴۰۲. تعیین سیاست‌های بهره‌برداری بهینه کمی-کیفی از مخزن سد با تلفیق مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر منطق فازی و تئوری بازی‌ها: مطالعه موردی سد ۱۵ خرداد. ۴۸: ۴۷-۵۹. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2022.14151.2477>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Shirangi@kiauo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۰

مقدمه

بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب به‌ویژه مخازن سدها در کشورهایی مثل ایران که دچار بحران کم‌آبی هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حضور تصمیم‌گیران متعدد با مطلوبیت‌ها و ترجیحات متفاوت و گاه متضاد، در بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب می‌تواند عامل مهمی برای بروز اختلاف‌ها و تنش‌های قابل‌توجه بین تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان باشد. تصمیم‌گیری صحیح برای تعیین مقدار برداشت آب از هر دریچه سد با توجه به وضعیت کیفی آن به‌طوری‌که مطلوبیت همه بهره‌برداران تأمین شود، امری ضروری محسوب می‌شود. مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با منطق فازی و همچنین تئوری بازی‌ها می‌توانند با هدف کاهش اختلاف بین مدیران در تعیین سیاست‌های بهینه برداشت آب از مخازن سدها بسیار مفید واقع شوند (کراچیان و کارآموز، ۲۰۰۶). نتایج مطالعات گذشته پژوهشگران نشان می‌دهد کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت بهره‌برداری کمی- کیفی از سیستم‌های منابع آب به‌ویژه مخزن سدها تجربه موفق بوده است (کراچیان و شیرنگی، ۲۰۰۸). این مدل‌ها به‌دلیل ویژگی انتخاب‌گر بودن، روشی مناسب برای انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های موجود با در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی و با درجات اهمیت (وزن‌های) متفاوت هستند (رشیدی و همکاران، ۲۰۱۸). با استفاده از مدل‌های ارائه‌شده در نظریه بازی‌ها، به عکس‌العمل طرف مقابل در شرایط تصمیم‌گیری نیز (برخلاف مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره) توجه می‌شود. این مزیت تئوری بازی‌ها به همراه عملکرد خوب مدل‌های تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت موجب شد که در این پژوهش، ایده اصلی تلفیق آن‌ها در مدیریت بهره‌برداری بهینه مخزن سدها شکل بگیرد. زنجانیان و همکاران (۲۰۲۲) یک چارچوب جدید برای حل تعارض حق‌آبه با در نظر گرفتن قدرت بازیگران و تحلیل روابط بین سازمانی ایجاد کردند. خیرخواه حسن‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) یک استراتژی تعادل فازی برای مدیریت کیفیت آب پایدار در سیستم رودخانه-مخزن ارائه کردند. استفاده از علم تئوری بازی‌ها برای حل اختلاف بین تصمیم‌گیرانی که دارای تفکرات، مطلوبیت‌ها و ترجیحات متفاوتی در بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب هستند، در

پژوهش‌های بسیاری دیده می‌شود (وندا و همکاران ۲۰۲۲؛ حقیقت و همکاران، ۲۰۲۱). از تحقیقات انجام‌شده می‌توان به استفاده از مدل حل اختلاف نش (۱۹۵۳) در بهره‌برداری از سیستم‌های رودخانه و مخزن و برای در نظر گرفتن مطلوبیت تصمیم‌گیران اشاره کرد (کراچیان و کارآموز، ۲۰۰۷؛ شیرنگی و کراچیان، ۲۰۰۷؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین کاربرد مدل چانه‌زنی دوجانبه یونگ (۱۹۹۳) برای رفع اختلاف بین دو گروه تصمیم‌گیرنده ذی‌نفع در مدیریت منابع آب، در تحقیقات برخی از پژوهشگران ارزیابی شده است (شیرنگی و همکاران، ۲۰۰۸؛ نیک‌سخن و همکاران، ۲۰۰۹). با تلفیق مدل شبیه‌سازی یک‌بعدی WQRRS و مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (GA)، امکان مدیریت بر نحوه برداشت آب از مخزن سد ۱۵ خرداد ایران که دارای مشکلات قابل‌توجه کیفی بود، فراهم شد (شیرنگی و همکاران، ۲۰۰۸). در مدل پیشنهادی ایشان، برای بهره‌برداری از مخزن سد صرفاً به دو پارامتر کیفیت و کمیت آب توجه شد و عملاً به دیگر شاخص‌های مهم تأثیرگذار بر نظر ذی‌نفع توجه نشد. این مسئله به همراه دوجانبه‌بودن مدل چانه‌زنی از محدودیت‌های مهم مدل ارائه‌شده محسوب می‌شد. در ادامه و با هدف اصلاح محدودیت روش‌های پیشین برای بهره‌برداری کمی و کیفی از مخازن سدها مدل حل اختلاف گروهی چانه (۲۰۰۴) توسعه داده شد (شیرنگی و همکاران، ۱۳۹۵). امکان مذاکرات چندین تصمیم‌گیرنده از امتیازات روش پیشنهادی محسوب می‌شد. مجری کرمانی و همکاران (۲۰۱۸، ۲۰۱۹) نیز با توسعه مطالعات پیشین و با هدف فازی‌سازی متغیرهای کیفی آب به ارائه روش جدیدی با ریاضیات فازی برای بهره‌برداری بهینه کمی- کیفی از مخازن سدها پرداختند.

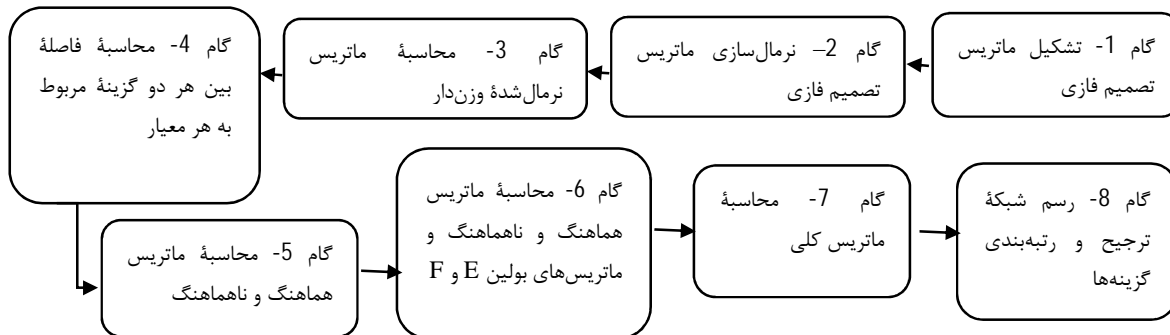
در این مقاله با هدف توسعه مدل ارائه‌شده توسط مجری کرمانی و همکاران (۲۰۱۹) و با توجه به پنج شاخص مختلف کمی، کیفی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، برای نخستین بار روشی مبتنی بر تلفیق یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بر پایه منطق فازی ELECTRE I و مدل چانه‌زنی دوجانبه رایبانشتین، برای تعیین میزان تخصیص بهینه کمی- کیفی آب مخزن سد ۱۵ خرداد ایران ارائه می‌شود. ایده اصلی این مقاله استفاده همزمان از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر منطق فازی

الکتره با منطق ساده کار می‌کند و دارای توانایی شناسایی وجود ناسازگاری است؛ زیرا از یک روال محاسباتی سیستمی استفاده می‌کند. سرعت و دقت بالا از مزایای این روش محسوب می‌شود. گام‌های حل مسئله تصمیم از طریق روش الکتره فازی در شکل ۱ توضیح داده شده است.

و تئوری بازی‌ها برای مدیریت بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با هدف افزایش مطلوبیت تصمیم‌گیران و کاهش تنش بین ایشان است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق و در محیط فازی از روش ELECTRE I برای مدل‌سازی ماتریس تصمیم استفاده می‌شود. روش



شکل ۱- گام‌های حل ماتریس تصمیم به روش الکتره فازی

که \tilde{x}_{ij} اهمیت فازی i امین گزینه با توجه به j امین معیار و \tilde{w}_j وزن فازی j امین معیار است.

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

نظرات تعداد k نفر خبره، $D_k(k=1,2,\dots,k)$ برای n معیار $C_j(j=1,2,\dots,n)$ و m گزینه $A_i(i=1,2,\dots,m)$ توسط متغیرهای زبانی و با اعداد فازی مثبت مثلثی تعریف می‌شوند. رتبه‌های عملکرد گزینه‌های (A_i) براساس معیارهای (C_j) به صورت $\tilde{x}_{ijk} = (x_{ijk}^l, x_{ijk}^y, x_{ijk}^u)$ است. وزن معیارهای موردنظر برای گزینه‌ها از نظر افراد خبره به صورت $\tilde{w}_{ijk} = (w_{ijk}^l, w_{ijk}^y, w_{ijk}^u)$ مشخص می‌شود. برای محاسبه برآیند نظرات خبرگان، از روش میانگین هندسی فازی استفاده شده است؛ از این‌رو میانگین رتبه‌های عملکرد گزینه‌ها در هر معیار به صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}^l, x_{ij}^y, x_{ij}^u), \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

همچنین وزن معیارها به صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{w}_j = (w_j^l, w_j^y, w_j^u), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

ماتریس تصمیم فازی به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$$

گام ۲: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم فازی

از یک مقیاس تبدیلی خطی برای تبدیل مقیاس معیارهای مختلف به یک مقیاس قابل‌مقایسه، استفاده شده است. ماتریس تصمیم نرمال‌شده فازی به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (4)$$

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^l, r_{ij}^y, r_{ij}^u) = \left(\frac{x_{ij}^l}{C_j^*}, \frac{x_{ij}^y}{C_j^*}, \frac{x_{ij}^u}{C_j^*} \right), \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad j \in B$$

$$C_j^* = \max_i(x_{ij}^u), \quad j \in B$$

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^l, r_{ij}^y, r_{ij}^u) = \left(\frac{a_j^-}{x_{ij}^u}, \frac{a_j^-}{x_{ij}^y}, \frac{a_j^-}{x_{ij}^l} \right), \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad j \in C.$$

$$a_j^- = \min_i(x_{ij}^l), \quad j \in C$$

که B مجموعه معیارهای مثبت و C مجموعه معیارهای منفی است.

$$\begin{aligned} \tilde{c}_{pq} &= \\ (c_{pq}^l, c_{pq}^y, c_{pq}^u) &\sum_{j \in J^c} \tilde{w}_j \\ &= \left(\sum_{j \in J^c} \tilde{w}_j^l, \sum_{j \in J^c} \tilde{w}_j^y, \right) \end{aligned} \quad (11)$$

به عبارت دیگر، عناصر ماتریس هماهنگ از جمع فازی وزن معیارهایی به دست می‌آیند که در مجموعه هماهنگ موجود هستند. ماتریس ناهماهنگ به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$D = \begin{bmatrix} - & \dots & d_{1q} & \dots & d_{1(m-1)} & d_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ d_{p1} & \dots & d_{pq} & \dots & d_{p(m-1)} & d_{pm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{mq} & \dots & d_{m(m-1)} & - \end{bmatrix} \quad (12)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} d_{pq} &= \frac{\max_{j \in J^D} |\tilde{v}_{pj} - \tilde{v}_{qj}|}{\max_{j \in J^D} |\tilde{v}_{pj} - \tilde{v}_{qj}|} \\ &= \frac{\max_{j \in J^D} |d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{qj})|}{\max_j |d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{qj})|} \end{aligned} \quad (13)$$

گام ۶: محاسبه مقادیر آستانه ماتریس هماهنگ و

ناهماهنگ و ساخت ماتریس‌های بولین E و F

در این مرحله مقدار آستانه ماتریس هماهنگ \tilde{C} را می‌توان با میانگین گرفتن از عناصر ماتریس هماهنگ تعیین کرد:

$$\begin{aligned} c^l &= \\ &= \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m \frac{c_{pq}^l}{m(m-1)}, c^y \\ &= \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m \frac{c_{pq}^y}{m(m-1)}, c^u \\ &= \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m \frac{c_{pq}^u}{m(m-1)} \end{aligned} \quad (14)$$

ماتریس بولین E با توجه به آستانه ماتریس هماهنگ یعنی \tilde{C} به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E = \begin{bmatrix} - & \dots & e_{1q} & \dots & e_{1(m-1)} & e_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ e_{p1} & \dots & e_{pq} & \dots & e_{p(m-1)} & e_{pm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ e_{m1} & \dots & e_{mq} & \dots & e_{m(m-1)} & - \end{bmatrix} \quad (15)$$

به طوری که:

$$\begin{cases} \tilde{c}_{pq} \geq \tilde{C} & \Leftrightarrow e_{pq} = 1 \\ \tilde{c}_{pq} < \tilde{C} & \Leftrightarrow e_{pq} = 0 \end{cases} \quad (16)$$

گام ۳: محاسبه ماتریس نرمال‌سازی شده وزن دار تصمیم فازی

با ضرب بردار وزن در ماتریس نرمال‌شده، ماتریس نرمال‌شده وزن دار حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{V} &= [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \\ \tilde{v}_{ij} &= (v_{ij}^l, v_{ij}^y, v_{ij}^u) = \tilde{w}_j \otimes \tilde{r}_{ij} \\ &= (w_j^l r_{ij}^l, w_j^y r_{ij}^y, w_j^u r_{ij}^u) \end{aligned} \quad (7)$$

گام ۴: محاسبه فاصله بین هر دو گزینه مربوط به هر معیار (ماتریس فاصله)

ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ با استفاده از ماتریس تصمیم فازی نرمال‌شده وزن دار و مقایسه زوجی میان گزینه‌ها محاسبه می‌شوند. با در نظر گرفتن دو گزینه A_p و A_q مجموعه هماهنگ به صورت $J^C = \{j | \tilde{v}_{pj} \geq \tilde{v}_{qj}\}$ تعریف می‌شود که در آن J^C شامل اندیس معیارهایی است که در آن A_p بر A_q ارجحیت دارد ($A_p S A_q$). مجموعه ناهماهنگ به صورت $J^D = \{j | \tilde{v}_{pj} \leq \tilde{v}_{qj}\}$ تعریف می‌شود که در آن J^D شامل اندیس معیارهایی است که در آن A_p بر A_q ارجحیت ندارد و برخلاف اثبات ($A_p S A_q$) است. به منظور مقایسه هر دو گزینه A_p و A_q با توجه به هر معیار و تعریف مجموعه‌های هماهنگ و ناهماهنگ، کمترین کران پایین گزینه‌ها یعنی $\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj})$ را تعریف می‌کنیم و سپس فاصله همینگ بین آن‌ها محاسبه می‌شود؛ به طوری که فرض می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{v}_{pj} \geq \tilde{v}_{qj} &\Leftrightarrow d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{qj}) \\ &\geq d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{pj}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \tilde{v}_{pj} \leq \tilde{v}_{qj} &\Leftrightarrow d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{qj}) \\ &\leq d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{pj}) \end{aligned} \quad (9)$$

گام ۵: محاسبه ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ

ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ بر اساس فواصل همینگ بین گزینه‌ها به دست می‌آیند. ماتریس هماهنگ به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} - & \dots & \tilde{c}_{1q} & \dots & \tilde{c}_{1(m-1)} & \tilde{c}_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{c}_{p1} & \dots & \tilde{c}_{pq} & \dots & \tilde{c}_{p(m-1)} & \tilde{c}_{pm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{c}_{m1} & \dots & \tilde{c}_{mq} & \dots & \tilde{c}_{m(m-1)} & - \end{bmatrix} \quad (10)$$

به طوری که:

دارد که آن را یک بازیکن عقلایی ارائه می‌کند و رقیب عقلایی با توجه به اینکه هیچ انتخاب جایگزینی ندارد، در زمان کوتاهی آن را قبول می‌کند (رایبشتین، ۱۹۸۲). مدل چانه‌زنی رایبشتین از نوع بازی‌های پویاست. چنانچه دو بازیکن در مورد تقسیم سهم مشخصی چانه‌زنی کنند، بازیکن ۱ در زمان t_1 پیشنهاد $(p_1, 1 - p_1)$ را می‌دهد که براساس آن سهم p_1 را برای خود و سهم $1 - p_1$ را برای بازیکن رقیب در نظر گرفته است. در پایان زمان t_1 ، بازیکن ۲ می‌تواند این پیشنهاد را بپذیرد یا اینکه رد کند. اگر بپذیرد بازی تمام است و بُرد هر یک از بازیکنان برابر با $(p_1, 1 - p_1)$ خواهد بود. در غیر این صورت بازی ادامه دارد و بازیکن ۲ در ابتدای دوره ۲ پیشنهاد p_2 را به بازیکن ۱ ارائه می‌کند. بازیکن ۱ این پیشنهاد را قبول یا رد می‌کند. اگر بازیکن ۱ قبول کند، منافع بازی به صورت $(p_2, 1 - p_2)$ تقسیم می‌شود. با توجه به اینکه بازیکنان این بُردها را در دوره بعدی دریافت می‌کنند، لازم است مقادیر این بُردها تنزیل داده شوند که ارزش تنزیلی آن‌ها به صورت $(\delta p_2, \delta(1 - p_2))$ است و در نهایت بازی به اتمام خواهد رسید. در غیر این صورت بازی به همین شکل تا رسیدن به توافق نهایی ادامه می‌یابد. معادلات (۲۱) تا (۲۳) پیشنهادهای بهینه بازیکن ۱ برحسب تعداد دوره‌های بازی را با تعمیم این روش به دوره‌های طولانی‌تر ارائه می‌کند (p_1 سهم بازیکن ۱ است).

$$p_1(1) = 1 \quad \begin{array}{l} \text{اگر بازی یک} \\ \text{دوره‌ای باشد} \end{array} \quad (21)$$

$$p_1(3) = 1 - \delta + \delta^3 \quad \begin{array}{l} \text{اگر بازی سه} \\ \text{دوره‌ای باشد} \end{array}$$

برای بازی با دوره‌های فرد نامحدود t حد آن عبارت است از:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p_1(t) = \frac{1}{1 + \delta} \quad (22)$$

چنانچه تعداد دوره‌ها زوج باشد و بازیکن ۲ پیشنهاد دهد، در این صورت حد آن برابر است با:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p_1(t) = \frac{\delta}{1 + \delta} \quad (23)$$

مطالعه موردی

سد ۱۵ خرداد از نوع خاکی غیرهمگن با هسته رسی و دارای مخزنی به حجم ۲۰۰ میلیون متر مکعب است. این

همچنین مقدار آستانه ماتریس ناهمبندگی \bar{D} با میانگین گرفتن از عناصر ماتریس ناهمبندگی، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{D} = \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m \frac{d_{pq}}{m(m-1)} \quad (17)$$

ماتریس بولین F به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F = \begin{bmatrix} - & \dots & f_{1q} & \dots & f_{1(m-1)} & f_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ f_{p1} & \dots & f_{pq} & \dots & f_{p(m-1)} & f_{pm} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ f_{m1} & \dots & f_{mq} & \dots & f_{m(m-1)} & - \end{bmatrix} \quad (18)$$

به طوری که:

$$\begin{cases} d_{pq} < \bar{D} \Leftrightarrow f_{pq} = 1 \\ d_{pq} \geq \bar{D} \Leftrightarrow f_{pq} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

عناصر با مقدار ۱ در ماتریس‌های E و F نشان‌دهنده ارتباط غالب بین گزینه‌هاست.

گام ۷: محاسبه ماتریس کلی

با ضرب نظیر به نظیر عناصر ماتریس‌های E و F ، ماتریس کلی G به صورت زیر ساخته می‌شود:

$$G = E \otimes F \quad (20)$$

گام ۸: رسم شبکه ترجیح و رتبه‌بندی گزینه‌ها

به تعداد گزینه‌های مسئله، گره رسم می‌شود. برای رسم کمان بین این گره‌ها، اگر در ماتریس G ، بین دو گزینه مؤلفه ۱ وجود داشت، از گره سطر مربوط در ماتریس به گره ستون مربوط در ماتریس، یک فلش جهت‌دار رسم می‌شود. هر کدام که بیشترین خروجی را داشته باشد، از ترجیح و برتری بالاتری برخوردار است.

مدل چانه‌زنی

در نظریه بازی‌ها، یک بازی مجموعه‌ای از قواعدی است که معین می‌کند هر یک از بازیکنان چه انتخاب‌هایی در مقابل تصمیمات طرف مقابل می‌توانند داشته باشند و هر انتخاب چه پیامدی برای ایشان به دنبال دارد. این آگاهی دو طرفه مهم‌ترین وجه تمایز نظریه بازی‌ها با مدل‌های تصمیم‌گیری است. وقتی پیشنهادها در یک بازی چانه‌زنی به صورت متوالی ارائه شوند، اگر بازیکنان راه‌حل سریع را به راه‌حل طولانی ترجیح دهند، فقط یک پیشنهاد وجود

نتایج و بحث

ویژگی روش تلفیقی پیشنهادی این است که از یک سو پیچیدگی‌های مربوط به یکپارچه‌سازی مدل‌های مختلف در چارچوب یک مدل واحد بهینه‌سازی بسیار کاسته می‌شود، از سوی دیگر ثابت می‌شود که چنانچه معیارهای مختلف اثر گذار بر مسئله تخصیص آب توسط مدیران در نظر گرفته شود، ایشان در شرایط مذاکره بر نظرات خود اصرار نکرده و از مواضع ایده‌آل خود چشم‌پوشی می‌کنند. دو تصمیم‌گیرنده اصلی در بهره‌برداری از مخزن سد ۱۵ خرداد، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان تأمین‌کننده آب شهری است. با مطالعه وظایف سازمانی هر یک از سازمان‌ها و مصاحبه با نمایندگان خبره آن‌ها، پنج شاخص کمیت آب قابل‌تخصیص (C1)، کیفیت آب قابل‌تخصیص (C2)، سود اقتصادی حاصل از تخصیص آب (C3)، شرایط و انتظارات اجتماعی منطقه (C4) و مسائل زیست‌محیطی (C5) به‌عنوان شاخص‌های اصلی برای تصمیم‌گیری در بهره‌برداری از مخزن سد در نظر گرفته شد. مجربی کرمانی و همکاران (۲۰۱۹) با تلفیق مدل شبیه‌سازی کیفی WQRRS و مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، منحنی تبادل بهینه‌ای با اهداف کمی و کیفی ارائه کردند (شکل ۳).

این منحنی خروجی مدل بهینه‌سازی است و از یک سری نقاط بهینه تشکیل شده است. در شکل ۳ محور افقی متغیر کیفی TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر و محور قائم آن میزان عدم‌تأمین نیاز برحسب درصد است. با توجه به منحنی تبادل (شکل ۳) کمیت و کیفیت رابطه عکس با هم دارند. به‌منظور کاهش مشکلات محاسباتی، شش نقطه بهینه A، B، C، D و F روی منحنی تبادل در نظر گرفته شده است. مطابق با جدول ۱ هر یک از این نقاط نشان‌دهنده مقدار مشخصی از TDS و مقدار تأمین نیاز و عدم‌تأمین نیاز متناظر آن برحسب درصد است. (TDS به‌عنوان شاخص کیفی آب مخزن در نظر گرفته شده است). لازم‌به‌ذکر است با توجه به شکل ۳، در بهره‌برداری از مخزن عملاً چانه‌زنی در مورد دو متغیر کیفی و کمی است که هم‌واحد نیستند. برای این منظور از روش پیشنهادی شیرنگی و همکاران (۲۰۰۸) استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی ایشان برای یکپارچه‌کردن اهداف باید تغییراتی روی منحنی صورت گیرد تا سهم هر یک از بازیکنان به‌دست آید. با توجه به شکل ۳ فرض می‌شود

سد روی رودخانه قم‌رود قرار دارد. هدف از احداث و بهره‌برداری آن، تأمین آب کشاورزی بیش از ۸۰۰۰ هکتار اراضی پایین‌دست، ذخیره سیلاب‌ها و آبرسانی به شهرهای اطراف آن است. رژیم آبدی قم‌رود کاملاً سیلابی است و برخی از شاخه‌های آن مانند سرشاخه‌های دربند، خمین و خوانسار دارای رژیم برفی و سایر شاخه‌ها تحت‌تأثیر رژیم بارانی هستند (شکل ۲). به دلایلی از قبیل خشکسالی‌های پیاپی سال‌های اخیر، لایه‌بندی حرارتی مخزن، بهره‌برداری نامناسب، تبخیر شدید از سطح دریاچه، کیفیت نامطلوب آب ورودی (به‌خصوص به‌علت ورود رودخانه‌های شور و دربنده شور) و همچنین کیفیت نامناسب ساختار زمین‌شناسی مخزن سد، کیفیت آب مخزن بسیار پایین است. حوضه آبریز سد ۱۵ خرداد کلاً از ۶ زیر حوضه غرقاب گلپایگان، شاقوی خمین، دربند شور، حوضه میانی، رودخانه شور و دلیجان تشکیل شده است که در این میان سه زیر حوضه رودخانه شور، غرقاب گلپایگان و دربند شور دارای بیشترین سهم در کیفیت نامطلوب جریان ورودی به مخزن سد ۱۵ خرداد هستند. این سد برای تنظیم ۶۵/۷۶ میلیون مترمکعب آب در سال برنامه‌ریزی شده است. از این مقدار ۳۷/۴ میلیون مترمکعب برای تأمین نیاز آب شرب شهر قم و ۲۸/۳ میلیون مترمکعب برای تأمین بخشی از نیاز آب کشاورزی پایین‌دست به‌کار می‌رود. در این پژوهش و با هدف مقایسه نتایج مدل‌های استفاده‌شده با تحقیقات پیشین، از داده‌های سال ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۷ استفاده شده است.



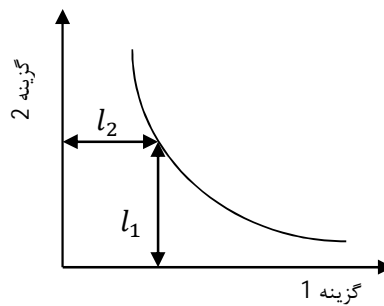
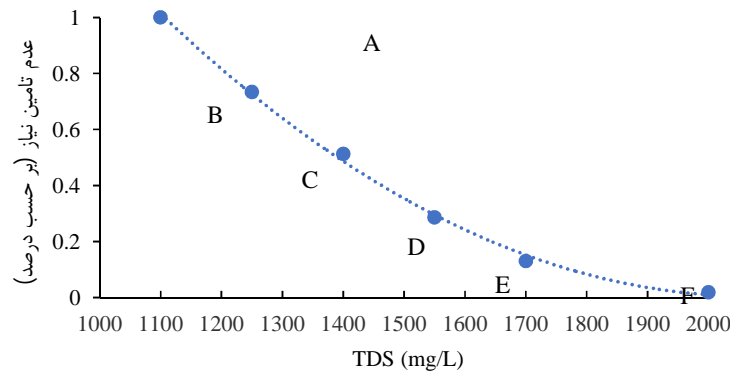
شکل ۲- شبکه آبراه‌های رودخانه قم‌رود

$$x_2 = \frac{l_1}{l_1 + l_2} \quad (25)$$

نخست رتبه‌بندی شش نقطه A, B, C, D و F با توجه به پنج شاخص C1, C2, C3, C4 و C5 از نظر هر یک از گروه‌های تصمیم‌گیرنده انجام شده است. مشخصات این شش نقطه در جدول ۱ ذکر شده است.

سهم بازیکن ۱ از گروه ۱ برابر x_1 و سهم بازیکن ۲ از گروه ۲ برابر x_2 باشد؛ به طوری که $x_1 + x_2 = 1$ صادق است. مقدار x_1 سهم بازیکن ۱ و x_2 سهم بازیکن ۲ مطابق معادلات (۲۴) و (۲۵) تعریف می‌شوند.

$$x_1 = \frac{l_2}{l_1 + l_2} \quad (24)$$



شکل ۳- منحنی تبادل و تعریف l_1 و l_2 روی منحنی تبادل

جدول ۱- مقادیر کیفی و کمی نقاط روی منحنی تبادل

گزینه						
F	E	D	C	B	A	
۲۰۰۰	۱۷۰۰	۱۵۵۰	۱۴۰۰	۱۲۵۰	۱۱۰۰	TDS(mg/lit)
۹۸/۱۵	۹۲/۹۶	۷۱/۳۳	۴۵/۷	۲۶/۶۲	۰	تأمین نیاز (%)
۱/۸۵	۷/۰۴	۲۸/۶۷	۵۴/۳	۷۳/۳۸	۱۰۰	عدم‌تأمین نیاز (%)

جدول ۲- مقادیر عددی معادل متغیر زبانی از دیدگاه نمایندگان بخش‌های کشاورزی و شرب

مقدار عددی معادل متغیر زبانی شرب		مقدار عددی معادل متغیر زبانی کشاورزی		متغیر زبانی
شاخص منفی (-)	شاخص مثبت (+)	شاخص منفی (-)	شاخص مثبت (+)	
۹	۱	۹	۱	Very Low (VL)
۷	۳	۷	۳	Low (L)
۵	۵	۵	۵	Medium (M)
۳	۷	۳	۷	High (H)
۱	۹	۱	۹	Very High (VH)

جدول ۳- اهمیت هر یک از نقاط روی منحنی تبادل از نظر هر یک از تصمیم‌گیران بخش کشاورزی (DM1) و بخش شرب (DM2) با توجه به پنج شاخص موردنظر

شاخص	تصمیم‌گیرنده	گزینه				
		F	E	D	C	B
1C	DM1	VH	VH	H	M	VL
	DM2	VL	L	M	H	VH
2C	DM1	VH	VH	H	M	VL
	DM2	VH	H	M	L	VL
3C	DM1	VH	VH	H	M	L
	DM2	VH	VH	H	H	M
4C	DM1	VH	VH	M	L	VL
	DM2	VH	VH	H	M	L
5C	DM1	M	VH	H	M	L
	DM2	VL	VL	M	VH	H

با استفاده از روش آنتروپی مقدار وزن هر یک از شاخص‌ها مطابق با جدول ۴ از نظر هر یک از گروه‌های تصمیم‌گیرنده محاسبه شد. در ادامه و برای رتبه‌بندی نقاط بهینه A, B, C, D و F از روش ELECTRE I استفاده شده است. جدول ۵ اعداد فازی معادل متغیرهای زبانی را پس از مصاحبه با نمایندگان بخش کشاورزی و شرب نشان می‌دهد.

پس از مصاحبه با نمایندگان بخش‌های کشاورزی و شرب، داده‌های جدول ۲ مقدار عددی معادل متغیر زبانی را با توجه به جنبه مثبت یا منفی بودن شاخص‌ها از دیدگاه ایشان نشان می‌دهند. پس از مصاحبه با نمایندگان خبره از هر دو گروه تصمیم‌گیرنده میزان درجه اهمیت هر یک از نقاط بهینه A, B, C, D و F با توجه به پنج معیار C1, C2, C3, C4 و C5 مطابق با جدول ۳ تعیین شد. در ادامه

جدول ۴- مقدار وزن هر یک از شاخص‌ها از نظر تصمیم‌گیرنده بخش کشاورزی و تصمیم‌گیرنده بخش شرب

شاخص					تصمیم‌گیرنده
5C	4C	3C	2C	1C	
۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲۲	DM1
۰/۳۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۱۶	DM2

جدول ۵- اعداد فازی مثلثی معادل متغیرهای زبانی

عدد فازی	متغیر زبانی
(۱ ۱ ۳)	Very Low (VL)
(۱ ۳ ۵)	Low (L)
(۳ ۵ ۷)	Medium (M)
(۵ ۷ ۹)	High (H)
(۷ ۹ ۹)	Very High (VH)

جدول ۶- ماتریس تصمیم از دیدگاه نماینده بخش کشاورزی

شاخص	وزن	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	گزینه ۴	گزینه ۵	گزینه ۶
		A	B	C	D	E	F
C1	۰/۲۲۴	۱۱۰۰	۱۲۵۰	۱۴۰۰	۱۵۵۰	۱۷۰۰	۲۰۰۰
C2	۰/۲۲۴	۰	۲۶/۶۲	۴۵/۷	۷۱/۳۳	۹۲/۹۶	۹۸/۱۵
C3	۰/۱۵۲	(۱ ۱ ۳)	(۱ ۳ ۵)	(۳ ۵ ۷)	(۵ ۷ ۹)	(۷ ۹ ۹)	(۷ ۹ ۹)
C4	۰/۲۵۹	(۱ ۱ ۳)	(۱ ۱ ۳)	(۱ ۳ ۵)	(۳ ۵ ۷)	(۷ ۹ ۹)	(۷ ۹ ۹)
C5	۰/۱۴۱	(۱ ۱ ۳)	(۱ ۳ ۵)	(۳ ۵ ۷)	(۵ ۷ ۹)	(۷ ۹ ۹)	(۳ ۵ ۷)

می‌شود که نتیجه آن یعنی ماتریس فاصله، در جدول ۷ نشان داده شده است. مؤلفه اول و دوم در هر سلول از ماتریس جدول ۷ به ترتیب نشان‌دهنده $d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{qj})$ و $d(\max(\tilde{v}_{pj}, \tilde{v}_{qj}), \tilde{v}_{pj})$ است.

جدول ۶ مقادیر ماتریس تصمیم را نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه ۵ و برای معیارهای با جنبه مثبت (کلیه معیارها)، نرمال‌سازی ماتریس تصمیم فازی انجام شده است. ماتریس تصمیم نرمال‌شده وزین، با ضرب ماتریس تصمیم نرمال‌شده در بردار وزن‌های مرتبط محاسبه می‌شود. برای تعیین فاصله اهمیت بین دو گزینه A_p و A_q با توجه به هر معیار، از فاصله همینگ فازی استفاده

جدول ۷- ماتریس فاصله

x_{F1}	x_{E1}	x_{D1}	x_{C1}	x_{B1}	x_{A1}	C1
(/۱۰۱, ۰)	(/۰۶۷, ۰)	(/۰۵۱, ۰)	(/۰۳۴, ۰)	(/۰۱۷, ۰)	-	x_{A1}
(/۰۸۶, ۰)	(/۰۵۰, ۰)	(/۰۳۴, ۰)	(/۰۱۷, ۰)	-	-	x_{B1}
(/۰۶۷, ۰)	(/۰۳۳, ۰)	(/۰۱۷, ۰)	-	-	-	x_{C1}
(/۰۵۰, ۰)	(/۰۱۶, ۰)	-	-	-	-	x_{D1}
(/۰۳۴, ۰)	-	-	-	-	-	x_{E1}
-	-	-	-	-	-	x_{F1}
x_{F2}	x_{E2}	x_{D2}	x_{C2}	x_{B2}	x_{A2}	C2
(/۲۲۴, ۰)	(/۲۱۲, ۰)	(/۱۶۳, ۰)	(/۱۰۴, ۰)	(/۰۶, ۰)	-	x_{A2}
(/۱۶۴, ۰)	(/۱۵۲, ۰)	(/۱۰۳, ۰)	(/۰۴۴, ۰)	-	-	x_{B2}
(/۱۲۰, ۰)	(/۱۰۸, ۰)	(/۰۵۹, ۰)	-	-	-	x_{C2}
(/۰۶۱, ۰)	(/۰۴۹, ۰)	-	-	-	-	x_{D2}
(/۰۱۲, ۰)	-	-	-	-	-	x_{E2}
-	-	-	-	-	-	x_{F2}
x_{F3}	x_{E3}	x_{D3}	x_{C3}	x_{B3}	x_{A3}	C3
(/۰۳۴, ۰)	(/۰۳۴, ۰)	(/۰۵۰۵, ۰)	(/۰۵۰۵, ۰)	(/۰۱۷, ۰)	-	x_{A3}
(/۰۵۱, ۰)	(/۰۵۱, ۰)	(/۰۶۷۵, ۰)	(/۰۳۴, ۰)	-	-	x_{B3}
(/۰۵۱, ۰)	(/۰۵۱, ۰)	(/۰۳۴, ۰)	-	-	-	x_{C3}
(/۰۱۷, ۰)	(/۰۱۷, ۰)	-	-	-	-	x_{D3}
(۰, ۰)	-	-	-	-	-	x_{E3}
-	-	-	-	-	-	x_{F3}
x_{F4}	x_{E4}	x_{D4}	x_{C4}	x_{B4}	x_{A4}	C4
(/۰۵۷, ۰)	(/۰۵۷, ۰)	(/۰۸۶۵, ۰)	(/۰۲۹, ۰)	(۰, ۰)	-	x_{A4}
(/۰۵۷, ۰)	(/۰۵۷, ۰)	(/۰۸۶۵, ۰)	(/۰۲۹, ۰)	-	-	x_{B4}
(/۰۸۶, ۰)	(/۰۸۶, ۰)	(/۰۵۷۵, ۰)	-	-	-	x_{C4}
(/۰۸۶۵, ۰)	(/۰۸۶۵, ۰)	-	-	-	-	x_{D4}
(۰, ۰)	-	-	-	-	-	x_{E4}
-	-	-	-	-	-	x_{F4}
x_{F5}	x_{E5}	x_{D5}	x_{C5}	x_{B5}	x_{A5}	C5
(/۰۴۷, ۰)	(/۰۳۱, ۰)	(/۰۴۷, ۰)	(/۰۴۷, ۰)	(/۰۱۵۵, ۰)	-	x_{A5}
(/۰۳۱۵, ۰)	(/۰۴۶۵, ۰)	(/۰۶۲۵, ۰)	(/۰۳۱۵, ۰)	-	-	x_{B5}
(۰, ۰)	(/۰۴۷, ۰)	(/۰۳۱, ۰)	-	-	-	x_{C5}
(۰, /۰۳۱)	(/۰۱۶, ۰)	-	-	-	-	x_{D5}
(۰, /۰۴۷)	-	-	-	-	-	x_{E5}
-	-	-	-	-	-	x_{F5}

هماهنگ باشد، عنصر مربوط در ماتریس بولین، برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود (مطابق معادله (۱۶)). مقدار آستانه ماتریس ناهماهنگ از طریق میانگین گرفتن از عناصر ماتریس ناهماهنگ با استفاده از معادله (۱۷) محاسبه می‌شود.

برای ساخت ماتریس ناهماهنگ مؤثر در صورتی که عنصر ماتریس ناهماهنگ بیشتر از مقدار آستانه ناهماهنگ باشد، عنصر ماتریس بولین، برابر صفر و در غیر این صورت برابر یک خواهد بود (مطابق معادله (۱۹)). برای محاسبه ماتریس کلی، عناصر ماتریس‌های E و F، نظیر به نظیر در هم ضرب می‌شوند (مطابق معادله (۲۰)). ماتریس کلی G در جدول ۸ ارائه شده است.

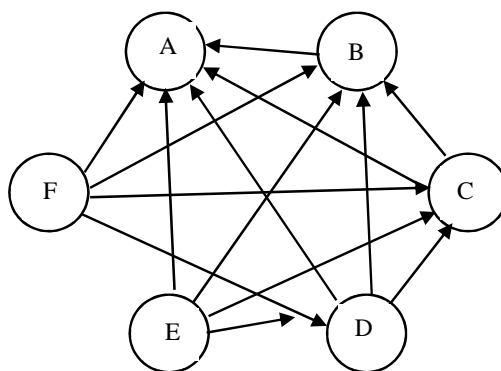
ماتریس هماهنگ با استفاده از معادله (۱۱) براساس مجموع وزن معیارهای موجود در مجموعه هماهنگ به دست می‌آید. در این پژوهش به علت محاسبه وزن معیارها به صورت اعداد قطعی (غیرفازی)، در محاسبه ماتریس هماهنگ نیز از اوزان قطعی استفاده شده است. ماتریس ناهماهنگ با استفاده از معادله (۱۳) براساس حاصل قسمت بزرگ‌ترین فاصله دو گزینه واقع در مجموعه معیارهای ناهماهنگ بر بزرگ‌ترین فاصله دو گزینه کلیه معیارها محاسبه می‌شود. مقدار آستانه ماتریس هماهنگ از طریق میانگین گرفتن از عناصر ماتریس هماهنگ با استفاده از معادله (۱۴) محاسبه می‌شود. برای ساخت ماتریس هماهنگ مؤثر، در صورتی که عنصر ماتریس هماهنگ بیشتر از مقدار آستانه

جدول ۸- ماتریس کلی G

گزینه	A	B	C	D	E	F
A	-	۰	۰	۰	۰	۰
B	۱	-	۰	۰	۰	۰
C	۱	۱	-	۰	۰	۰
D	۱	۱	۱	-	۰	۰
E	۱	۱	۱	۱	-	۰
F	۱	۱	۱	۱	۱	-

جدول ۹- ترجیحات نهایی تصمیم‌گیران بخش کشاورزی و شرب

رتبه	ترجیحات تصمیم‌گیرنده بخش کشاورزی	ترجیحات تصمیم‌گیرنده بخش شرب
۱	E, F	C
۲	D	D
۳	C	E
۴	B	F
۵	A	-



شکل ۴- شبکه ترجیح

بازیکن اول پیشنهاد نخست را که همان ترجیح نخست به دست آمده از مدل تصمیم‌گیری فازی است، ارائه می‌کند. پیشنهاد وی نقطه E روی منحنی تبادل است. مختصات طول و عرض نقطه E به ترتیب نشان‌دهنده مقدار TDS برابر ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار درصد عدم تأمین نیاز برابر ۱۲/۰۲ (درصد تأمین نیاز برابر ۸۷/۹۸) است. برای نقطه E سهم بازیکن اول (x_1) برابر ۸۹/۲۷ درصد و سهم بازیکن دوم (x_2) مقدار ۱۰/۷۳ درصد است. این پیشنهاد از سوی نماینده بخش کشاورزی ارائه می‌شود و نماینده بخش شرب رد می‌کند. مذاکرات وارد مرحله دوم می‌شود و نرخ تنزیل برابر ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. با توجه به معادله شماره ۲۵ و نرخ تنزیل ۰/۰۵ در این مرحله سهم بازیکن‌های اول و دوم مشمول جریمه شده و کاهش می‌یابد. به این ترتیب مذاکرات ادامه می‌یابد و در نهایت مطابق اعداد ارائه شده در جدول ۱۰، پیشنهاد چهارم بازیکن ۱ (نماینده بخش کشاورزی) از سوی بازیکن ۲ (نماینده بخش شرب) پذیرفته می‌شود. مطابق این پیشنهاد سهم بازیکن ۲ پس از اعمال نرخ تنزیل برابر ۲۱/۱۴ درصد است و مقدار TDS مورد توافق برابر ۱۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر است. بازیکن ۲ پیشنهاد بازیکن ۱ را در این مرحله می‌پذیرد؛ زیرا به خوبی می‌داند در صورت ادامه مذاکرات و با توجه به نرخ تنزیل، در مرحله بعد سهم وی از مقدار ۲۱/۱۴ درصدی که در این مرحله به دست آورده است کمتر خواهد شد؛ بنابراین مذاکرات با همان پیشنهاد چهارم بازیکن ۱ (بخش کشاورزی) به پایان خواهد رسید. در ادامه و به ازای TDS مورد توافق طرفین که برابر ۱۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر است، مدل بهینه‌سازی برای بازه زمانی سال ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۷ به صورت ماهیانه مجدداً اجرا می‌شود و مقدار متوسط برداشت آب ماهیانه از هر دریچه سد در هر ماه تعیین می‌شود. بدین ترتیب سری زمانی برداشت متوسط ماهیانه آب مخزن سد به‌ازای کیفیت مطلوب و مورد توافق طرفین با توجه به پنج شاخص مختلف کمی، کیفی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، در یک دوره زمانی مشخص تعیین می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، مقدار TDS مورد توافق بازیکنان در این پژوهش برابر ۱۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر است که در مقایسه با مقدار TDS توافقی شده در پژوهش مشابه انجام شده توسط مجری کرمانی و همکاران (۲۰۱۸) حدود ۳۰ میلی‌گرم در لیتر

در گام آخر فرایند، گراف نمایش داده شده در شکل ۴ ارائه می‌شود. این گراف تصمیم، به‌عنوان یک شبکه ترجیح این امکان را فراهم می‌کند تا مرتبه رتبه‌بندی گزینه‌ها شناسایی شود. این گراف براساس ترسیم فلش از گره گزینه سطر به گره گزینه ستون در ماتریس G، در صورتی که عنصر ماتریس کلی مربوط معادل یک باشد، تشکیل می‌شود. هر کدام که بیشترین خروجی را داشته باشد، از ترجیح و برتری بیشتری برخوردار است. همان طوری که در این گراف نشان داده شده است، گزینه‌های E و F با چهار خروجی فلش دارای اولویت اول هستند، برای تصمیم‌گیرنده دوم (بخش شرب) نیز ترجیحات با روش مشابه تعیین می‌شود. در جدول ۹ ترجیحات هر دو بخش به ترتیب رتبه ارائه شده است. با توجه به نتایج ذکر شده در این جدول، برای بخش کشاورزی نقاط E و F اولویت نخست را دارند. نماینده این بخش برای رسیدن به توافق سریع‌تر، نقطه E را برای شروع چانه‌زنی انتخاب می‌کند. از سوی دیگر برای بخش شرب نقطه C دارای اولویت نخست است. پس چانه‌زنی روی منحنی تبادل و در محدوده بین نقاط E (اولویت نخست کشاورزی) و C (اولویت نخست شرب) انجام می‌شود. مراحل مذاکرات بین دو تصمیم‌گیرنده در جدول ۱۰ ارائه شده است. از آنجایی که مخزن سد ۱۵ خرداد دارای مشکلات کیفی است و همچنین به دلیل نیاز بخش شرب، نماینده این بخش پیشنهاد نخست را ارائه می‌کند (بازیکن ۲). با توجه به نتایج به دست آمده از مدل تصمیم‌گیری فازی در مرحله قبل، مشخصات نقطه C روی منحنی تبادل بیانگر ترجیح نخست بازیکن ۲ است. نقطه C اولین پیشنهاد بازیکن ۲ در مذاکرات است. با توجه به منحنی تبادل (شکل ۳)، مختصات طول و عرض نقطه C به ترتیب نشان‌دهنده مقدار TDS برابر ۱۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار درصد عدم تأمین نیاز برابر ۵۰/۳۷ (درصد تأمین نیاز برابر ۴۹/۶۳) است. با توجه به مختصات نقطه C و معادلات ۲۴ و ۲۵ مقدار سهم هر بازیکن قابل تعیین است. سهم بازیکن اول (x_1) برابر ۶۲/۰۵ درصد و سهم بازیکن دوم (x_2) مقدار ۳۷/۹۵ درصد است. به دلیل آنکه در مرحله نخست مذاکرات قرار داریم، مقدار نرخ تنزیل صفر است. در این مرحله، پیشنهاد نماینده بخش شرب (بازیکن ۲) از سوی نماینده بخش کشاورزی (بازیکن ۱) رد می‌شود و مذاکرات ادامه می‌یابد. نماینده سازمان کشاورزی به‌عنوان

نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید براساس تلفیق مدل تصمیم‌گیری با منطق فازی و مدل حل اختلاف دو جانبه پویا رابینشتین به منظور مدیریت بهره‌برداری بهینه کمی-کیفی از مخزن سد ارائه شد. در روش پیشنهادی پس از مصاحبه با نمایندگان خبره بخش‌های تصمیم‌گیرنده در بهره‌برداری از مخزن سد و تعیین مطلوبیت‌های ایشان، برای نخستین بار با استفاده از مدل تصمیم‌گیری ELECTRE I ارجحیت نقاط بهینه روی منحنی تبادل بهینه به دست آمده از پژوهش صورت گرفته توسط مجربی و همکاران (۲۰۱۹) از دیدگاه هر یک از طرفین بازی تعیین شد. سپس با استفاده از مدل حل اختلاف دوجانبه رابینشتین نقطه بهینه مورد توافق طرفین مذاکره روی منحنی تبادل به دست آمد. به ازای نقطه بهینه مورد توافق طرفین، سری زمانی برداشت متوسط ماهیانه آب مخزن سد به ازای کیفیت مطلوب، در یک دوره زمانی مشخص تعیین شد. ارائه روشی نوین با تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری بر پایه منطق فازی و حل اختلاف، به دلیل جامع بودن (اعمال کلیه شاخص‌های اثرگذار کمی، کیفی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی) و کوتاه‌تر شدن مدت زمان چانه‌زنی به همراه افزایش دقت در تعیین نقطه مورد توافق بهره‌برداران از امتیازات این مطالعه است. نتایج این تحقیق می‌تواند گامی مهم برای توسعه مطالعات پیشین محسوب شود.

بیشتر است. همچنین با محدوده به دست آمده توسط مجربی کرمانی و همکاران (۲۰۱۹) که بین ۱۴۵۰ و ۱۵۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است، کمی تفاوت دارد که نشان از برتری عملکرد مدل پیشنهادی نسبت به تحقیقات پیشین دارد. دلیل آن در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی علاوه بر شاخص‌های کمی و کیفی در این مطالعه است. مقدار TDS به دست آمده نشان می‌دهد انعطاف بازیکنان (به ویژه نماینده بخش شرب) در طی مذاکرات بیشتر شده است و آن‌ها از مواضع ایده‌آل خود چشم‌پوشی می‌کنند. با روش پیشنهادی این امکان فراهم شده است که تصمیم‌گیران حساس نسبت به کیفیت مطلوب آب، در مذاکرات انعطاف‌پذیری بیشتری داشته باشند. ایشان سخت‌گیری کمتری در مذاکرات کنند و عملاً شانس توافق بهتر، بسیار بالاتر و البته سریع‌تر خواهد بود، در عین حال که عوامل مختلف و تأثیرگذار در بهره‌برداری از مخزن سد توسط تصمیم‌گیران در نظر گرفته شده است. تلفیق مدل تصمیم‌گیری فازی با یک مدل حل اختلاف گروهی که در آن امکان حضور تعداد زیادی تصمیم‌گیرنده فراهم باشد، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱۰- مراحل مذاکرات بین دو تصمیم‌گیرنده

دور	پیشنهاد‌های طرفین مذاکرات	TDS (mg/L)	عدم تأمین نیاز (برحسب درصد)	x_1 (سهم بخش کشاورزی برحسب درصد)	x_2 (سهم بخش شرب برحسب درصد)	x_1 (سهم) تنزیل یافته بخش کشاورزی برحسب درصد)	x_2 (سهم) تنزیل یافته بخش شرب برحسب درصد)	وضعیت پذیرش طرف مقابل
۱	پیشنهاد شرب	۱۴۰۰	۵۰/۳۷	۶۲/۰۵	۳۷/۹۵	-	-	رد
	پیشنهاد کشاورزی	۱۷۰۰	۱۲/۰۲	۸۹/۲۷	۱۰/۷۳	-	-	رد
۲	پیشنهاد شرب	۱۴۵۰	۴۳/۴۳	۶۶/۲۶	۳۳/۷۴	۶۳/۱۰	۳۲/۱۳	رد
	پیشنهاد کشاورزی	۱۶۵۰	۱۷/۹۲	۸۴/۴۲	۱۵/۵۸	۸۰/۳۹	۱۴/۸۴	رد
۳	پیشنهاد شرب	۱۵۰۰	۳۶/۷۴	۷۰/۶	۲۹/۴	۶۷/۲۳	۲۸/۰۰	رد
	پیشنهاد کشاورزی	۱۶۰۰	۲۳/۹۹	۷۹/۶۹	۲۰/۳۱	۷۵/۸۹	۱۹/۳۴	رد
۴	پیشنهاد شرب	۱۵۵۰	۳۰/۲۶	۷۵/۰۸	۲۴/۹۲	۷۱/۵۰	۲۳/۷۳	رد
	پیشنهاد کشاورزی	۱۵۸۰	۲۷/۲	۷۷/۸	۲۲/۲	۷۴/۰۹	۲۱/۱۴	قبول

منابع

12. Rashidi B. Shirangi E. and Baymaninezhad M. 2018. Multiple criteria decision-making method for selecting of sealing element for earth dams considering long and short terms goals. *Wind and Structures*. 26: 69-74.
13. Rubinstein A. 1982. Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica*. 50(1): 97-109.
14. Soltani M. A. Karimi A. Bazargan-lari M. R. and Shirangi E. 2008. Stochastic multi-purpose reservoir operation planning by scenario optimization and differential evolutionary algorithm. *Journal of Applied Sciences*. 8(22): 4186-4191.
15. Soltani F. Kerachian R. and Shirangi E. 2010. Developing operating rules for reservoirs considering the water quality issues: application of ANFIS-based surrogate models. *Expert Systems with Applications*. 37: 6639-6645.
16. Shirangi E. and Kerachian R. 2007. A simplified model for optimal reservoir operation considering the water quality issues. *Proceedings of CEMEPS/SECOTOX Conference, Skiathos Island Greece June*.
17. Shirangi E. Kerachian R. and Shafai Bajestan M. 2008. A simplified model for optimal reservoir operation considering the water quality issues: application of the Young conflict resolution theory. *Environ Monit Assess*. 146: 77-89.
18. Vanda S. Nikoo M. R. Hashempour P. Al-Wardy M. Adamowski J. F. Simunek J. and Gandomi A. H. 2022. Reservoir operation under accidental MTBE pollution: A graph-based conflict resolution framework considering spatial-temporal-quantitative uncertainties. *Journal of Hydrology*, 605 p.
19. Young H. P. 1993. An evolutionary model of bargaining. *J Econ Theory*. 59(1): 145-168.
20. Zanjani H. Niksokhan M. H. Ghorbani M. and Rezaei A. R. 2022. A novel framework for water right conflict resolution considering actors' power and inter-organizational relationships analysis. *Journal of Hydroinformatics* doi: 10.2166/hydro.2022.166.
1. شیرنگی ا. خالقی س. بقایی ف. منصوری ع. و پورمند ا. ۱۳۹۵. تدوین قوانین بهره‌برداری بهینه و به‌هنگام مخازن سدها با استفاده از شبکه‌های بی‌زی: کاربرد مدل حل اختلاف گروهی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۵(۳): ۱-۱۱.
2. Chae S. and Heidhues P. 2004. A group bargaining solution. *Journal of Mathematical Social Sciences*. 48: 37-53.
3. Haghghat M. Nikoo M. R. Parvinnia M. and Sadegh M. 2021. Multi-objective conflict resolution optimization model for reservoir's selective depth water withdrawal considering water quality. *Environmental Science and Pollution Research*. 28: 3035-3050.
4. Kerachian R. and Karamouz M. 2006. Optimal reservoir operation considering the water quality issues: a stochastic conflict resolution approach. *Water Resources Research*. 42: 1-15.
5. Kerachian R. and Karamouz M. 2007. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. *Advances in Water Resource*. 30(4): 866-882.
6. Kerachian R. and Shirangi E. 2008. A case study for conflict resolution in reservoir operation for water quantity and quality. *World Water and Environmental Resources Congress Hawaii*.
7. Kheirkhah Hasanazadeh S. Saadatpour M. and Afshar A. 2020. A fuzzy equilibrium strategy for sustainable water quality management in river-reservoir system. *Journal of Hydrology*. 586: 124892.
8. Mojarabi-Kermani A. R. Shirangi E. Bordbar A. Kaman Bedast A. A. and Masjedi A. R. 2018. Modeling of decision-makers negotiations in reservoir operation with respect to water quality and environmental issues. *Membrane Water Treatment*. 9(6): 421-434.
9. Mojarabi-Kermani A. R. Shirangi E. Bordbar A. Kaman Bedast A. A. and Masjedi A. R. 2019. Stochastic optimal reservoir operation management, applying group conflict resolution model. *Water Resources Management*. 33(8): 2847-2865.
10. Nash J. 1953. Two-person cooperative games. *Journal of Econometrica*. 21: 128-140.
11. Niksokhan M. H. Kerachian R. and Amin P. 2009. A stochastic conflict resolution model for trading pollutant discharge permits in river systems. *Environmental Monitoring and Assessment*. 154(1): 219-232.

