Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۶
Volume 3, No. 2, Fall 2007 (IR-WRR)
۱-۹

اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای گروهی فازی

سیده لیلا رضوی‌طوسی[۱]، جمال محمدولی‌سامانی[۲] و امین کوره‌پزان دزفولی[۳]

چکیده

یکی از مهمترین مسائلی که امروزه در زمینه منابع آب وجود دارد، کمبود آب است. چون امکان اجرای مالی تمام پروژه‌های مربوط به منابع آب، در یک بخش وجود ندارد، بنابراین ترتیب اجرای آنها بسیار مهم می‌باشد. در این تحقیق از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای اولویت‌بندی برخی از پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ با درنظرگرفتن معیارهای مختلف، استفاده شده‌است و روش پیشنهادی Raj و Kumar برای شرایطی که معیارهای سود و هزینه وجود دارند، توسعه داده شد. در اولویت‌بندی گزینه‌ها، ابتدا معیارها و وزن آنها تعیین می‌شوند. در این تحقیق، ۱۰ طرح انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ با ۸ معیار در نظر گرفته شده‌است. وزن معیارها، توسط ۵ کارشناس خبره در زمینه منابع آب مشخص شده‌اند. وزن‌های فازی گزینه‌ها، با استفاده از استانداردهای ریاضیات فازی محاسبه شده‌است. نظریه مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم، برای مطلوبیت نهایی هر یک از گزینه‌ها استفاده می‌شود. در نهایت، نتایج روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم با نتایج بدست آمده از نرم افزار FDM مقایسه شد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، اولویت‌بندی، فازی، پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های‌آبی دانشکده‌کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۳- کارشناسی ارشد عمران آب، وزارت نیرو

Ranking Inter-basin Water Resources Projects Using Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making Method

S. L. Razavi Toosi [1], J. M. V. Samani[2] and A. Koorehpazan Dezfuli[3]

Abstract

Dealing with Water Scarcity is one of the important probleme in water resources management. There is no one of financial capability to execute all the water resources projects in one lot, so it is important to rank execution projects. In this study, one of the fuzzy multiple attribute decision making methods was employed for ranking some of the inter-basin water transfer projects, by using different critaria and modifying the Raj and Kumar method for both benefit and cost critaria conditions. The approach has been applied to the Karun river basin. For ranking alternatives, first critaria and their weight were determined and then 10 inter-basin water resources projects of Karun river with 8 critaria were considered. The weight of each criterion determined by 5 water resources experts. The fuzzy weights of alternatives are computed by using standard fuzzy arithmatic. The concept of maximizing snd minimizing sets are used to computed the total utility of each of alternatives. Finally, the results of maximizing and minimizing method were compared to FDM software.

Keywords: Multiple attribute decision making, Ranking, Fuzzy, Inter-basin water transfer projects.

1- M.S. student, Department of water structures, College of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran, Po.Box 14115-336.
2- Associate professor, Department of water structures, College of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
3- M.S. Environment and Water Research Center, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM)[1]، گزینه‌های موردنظر با توجه به شاخص‌های مختلف، که ممکن است در تعارض با یکدیگر باشند، اولویت‌بندی می‌شوند. مسائل MADM شامل بسیاری از مسائل جهان واقعی می‌باشند. کارهای تحقیقاتی زیادی در زمینه MADM انجام شده است. تحقیقی توسط Raju (2000) و همکاران در زمینه اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است و از پنج روش تصمیم‌گیری چند معیاره شامل PROMETHEE-2، ELECTRE-3، برنامه‌نویسی سازگار (CP)[2]، EXPROM-2 و ELECTRE-4 برای اولویت‌بندی طرح‌های منابع آب در Huesca اسپانیا استفاده کردند. یکی از زمینه‌های مهم تحقیقات، استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ای است که عدم قطعیت اطلاعات آنها به صورت فازی ظاهر می‌شود. تئوری فازی اولین بار توسط لطفعلی عسگرزاده در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای به‌نام "مجموعه‌های فازی" معرفی شد (Zadeh,1965). تئوری فازی بسیاری از عدم قطعیت‌ها را دربرمی‌گیرد.

محققانی مانند Chen and Hwang (1992) در کتاب تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، روش‌های مختلفی را برای اولویت‌بندی گزینه‌ها با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، در شرایطی که فقط یک تصمیم‌گیرنده وجود داشته‌باشد، ارائه کرده‌اند. به‌طورکلی، روش‌های مختلفی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در محیط فازی ارائه شده است که شامل اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس مقایسه با مقادیر غیرفازی شده، روش Adamo (1980) و روش Yager (1980)، اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس مقایسه گزینه‌ها با مجموعه‌های فازی شاخص، روش Jain (1977) و روش Chen (1985) و اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس مقایسه زوجی گزینه‌ها، روش Dubois and Prade (1983) می‌باشند. بیشتر روش‌های فوق در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که فقط از نظر یک کارشناس برای وزن‌دهی معیارها و ارزیابی گزینه‌ها با توجه به معیارها، استفاده شود. محاسبات برخی از این روش‌ها نیز مشکل می‌باشد. برای رفع مشکلات موجود در روش‌های گذشته، Raj and Kumar (1998) روشی را برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در شرایط فازی و در شرایطی که بیش از یک کارشناس وجود داشته باشد، ارائه کرده‌اند. مطلوبیت نهایی گزینه‌ها با استفاده از مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم تعیین می‌شود. این روش برای اولویت‌بندی طرح‌های حوضه‌آبریز رودخانه Krishna در هند انجام شد. در ایران، در تحقیقی که توسط اردکانیان و ضرغامی انجام شد (Ardakanian and Zarghami, 2004)، معیارهای ارزیابی طرح‌ها در ۱۵ حوضه آبریز در کشورهایی چون ترکیه، برزیل، ایالات متحده، کنیا و سوئد بررسی شد و درنهایت پس از بررسی معیارهای تصمیم‌گیری طرح‌های توسعه منابع آب در سایر کشورها و لحاظ کردن معیارهای مطرح در سندهای ملی ایران و سایر طرح‌ها، درخت سلسله مراتبی معیارها در ایران معرفی شد. همچنین از نرم‌افزار تصمیم‌گیری فازی (FDM)[3] برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شد. در این مقاله اولویت‌بندی برخی از طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ، با استفاده از مجموعه‌های ماکزیمم ومینیمم فازی، انجام شده‌است و نتایج بدست آمده از این روش با نتایج بدست آمده از نرم‌افزار تصمیم‌گیری فازی مقایسه شده‌است. هدف این مقاله، معرفی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی در شرایطی است که بیش از یک تصمیم‌گیرنده وجود داشته باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل اولویت‌بندی

در این روش اولویت‌بندی گزینه‌ها، با درنظرگرفتن چندمعیار، توسط چندین تصمیم‌گیرنده (تصمیم‌گیری گروهی) و با استفاده از اعداد فازی ذوزنقه‌ای انجام می‌گیرد. وزن‌های فازی گزینه‌ها با استفاده از ریاضیات استاندارد فازی انبوهش می‌شوند. از نظریه مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. مقدار مطلوبیت نهایی برای هر گزینه محاسبه شده و اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها براساس آن انجام می‌گیرد. در الگوریتم این روش توجهی به سود و هزینه بودن معیارها نشده‌است. همچنین تبدیل عبارت‌های بیانی به اعداد فازی ذوزنقه‌ای نیز بدون توجه به سود و هزینه بودن معیارها انجام می‌گیرد. در نتیجه در شرایطی که برخی از معیارها سود و برخی از معیارها هزینه باشند، نتایج اولویت‌بندی مناسبی به دست نمی‌آید و گزینه‌ای که نسبت به معیار هزینه دارای کمترین مقدار است در رتبه‌های آخر قرار می‌گیرد، زیرا در الگوریتم این روش تفاوتی بین معیارهای سود و هزینه وجود ندارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تبدیل عبارتهای بیانی به اعداد فازی ذوزنقه‌ای از جدول (۱) که در آن معیارهای سود و هزینه لحاظ شده‌اند، استفاده شود.

فرض کنید مسأله مورد نظر، شامل m گزینه $(A_i, i=1,2,...,m)$ و k معیار $(C_k, K=1,2,...,k)$ باشد و اطلاعات موردنیاز برای ارزیابی هر گزینه نسبت به معیارهای تعیین شده توسط n تصمیم‌گیرنده $(E_j,\ j=1,2,...,n)$ مشخص می‌شود. در این روش برای تبدیل عبارت‌های بیانی از اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شده است، که عدد فازی ذوزنقه‌ای به‌کاربرده‌شده در این روش در شکل (۱) نشان داده شده و تابع عضویت مربوط به آن به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\tilde{a}_{ij}^{k} = (\alpha_{ij}^{k}, \beta_{ij}^{k}, \gamma_{ij}^{k}, \delta_{ij}^{k}) \;,\; i = 1,2,...,m \qquad (۱)$$
$$\alpha < \beta < \gamma < \delta \in \ell$$

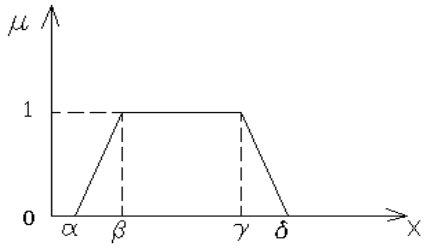
ℓ محدوده اعداد فازی ذوزنقه‌ای را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که $\ell_1 = 0$ برای بدترین حالت و $L = 10$ برای بهترین حالت می‌باشد.

$$\ell = \{\ell_1, \ell_2, ..., L\} \qquad (۲)$$
$$\ell_1 < \ell_2 < ... < L$$

$$\mu_{\tilde{a}_i}(x) = \begin{cases} 0 & x < \alpha_{ij}^{k} \\ \dfrac{x - \alpha_{ij}^{k}}{\beta_{ij}^{k} - \alpha_{ij}^{k}} & \alpha_{ij}^{k} < x < \beta_{ij}^{k} \\ 1 & \beta_{ij}^{k} < x < \gamma_{ij}^{k} \\ \dfrac{\delta_{ij}^{k} - x}{\delta_{ij}^{k} - \gamma_{ij}^{k}} & \gamma_{ij}^{k} < x < \delta_{ij}^{k} \\ 0 & x > \delta_{ij}^{k} \end{cases} \qquad (۳)$$

جدول ۱- تبدیل عبارت‌های بیانی با درنظرگرفتن معیار سود و هزینه

اعداد ذوزنقه ای	معیار سود	معیار هزینه	وزن معیارها
(0,0,2,3)	بسیارکم	بسیارزیاد	بسیارکم
(1,2,3,4)	کم	زیاد	کم
(3,4,5,6)	نسبتاً کم	نسبتاًزیاد	نسبتاً کم
(4,5,5,6)	متوسط	متوسط	متوسط
(5,6,7,8)	نسبتاًزیاد	نسبتاً کم	نسبتاًزیاد
(6,7,8,9)	زیاد	کم	زیاد
(7,8,10,10)	بسیارزیاد	بسیارکم	بسیارزیاد



شکل ۱- عدد فازی ذوزنقه‌ای روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری $\tilde{R}_k$ که عناصر این ماتریس، ارجحیت هر گزینه را با درنظرگرفتن هر معیار، توسط هریک از تصمیم‌گیرنده‌ها نشان می‌دهند. ردیف‌های این ماتریس شامل گزینه‌ها $(A_1, A_2, ..., A_m)$ و ستون‌های این ماتریس شامل تصمیم‌گیرنده‌ها $(E_1, E_2, ..., E_n)$ می‌باشند. عناصر این ماتریس، عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{a}_{ij}^{k}$ می‌باشند که عملکرد گزینه i ام را با درنظرگرفتن معیارk ام، توسط تصمیم‌گیرنده j ام نشان می‌دهند.

مرحله دوم: شامل تشکیل ماتریس وزن معیارها توسط تصمیم‌گیرنده‌ها می‌باشد. ردیف‌های این ماتریس، نشان‌دهنده معیارها $(C_1, C_2, ..., C_k)$ و ستون‌های این ماتریس نشان‌دهنده تصمیم‌گیرنده‌ها $(E_1, E_2, ..., E_n)$ می‌باشند. عناصر تشکیل‌دهنده ماتریس، یعنی اعداد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{C}_{kj}$، وزن معیار k ام را توسط تصمیم‌گیرنده j ام نشان می‌دهد.

$$\tilde{C}_{kj} = (\varepsilon_{kj}, \zeta_{kj}, \eta_{kj}, \theta_{kj}) \qquad (۴)$$

مرحله سوم: در این مرحله، انبوهش نظرات تصمیم‌گیرنده‌ها در مورد وزن معیارها و نسبت‌های گزینه‌ها، به‌صورت زیر انجام می‌گیرد. $\tilde{a}_{ij}^{k}$ عدد فازی ذوزنقه‌ای می‌باشد که عملکرد گزینه i ام را با درنظرگرفتن معیارk ام، توسط تصمیم‌گیرنده j ام نشان می‌دهند و در مرحله ۱ بدست آمده است.

$$\tilde{P}_{ik} = (\frac{1}{n})(\cdot)(\tilde{a}_{i1}^{k}(+)\tilde{a}_{i2}^{k}(+)...(+)\tilde{a}_{in}^{k}) \qquad (۵)$$

$(\cdot)$ و $(+)$ جمع و ضرب اعداد فازی می‌باشند. $\tilde{P}_{ik}$ میانگین نظرات تصمیم‌گیرنده‌ها را درباره عملکرد گزینه i ام با توجه به معیار k ام نشان می‌دهد و n تعداد تصمیم‌گیرنده‌ها می‌باشد.

$$\tilde{q}_k = (\frac{1}{n})(\cdot)(\tilde{C}_{k1}(+)\tilde{C}_{k1}(+)...(+)\tilde{C}_{kn}) \qquad (۶)$$

$\tilde{q}_k$ میانگین نظرات تصمیم‌گیرنده‌ها را درباره وزن معیار k ام نشان می‌دهد. $\tilde{C}_{kj}$، عدد فازی ذوزنقه‌ای است که وزن معیار k ام را توسط تصمیم‌گیرنده j ام نشان می‌دهد و در مرحله ۲ بدست آمده است.

مرحله چهارم: در این مرحله وزن‌دهی ماتریس تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد. وزن‌دهی نهایی، $\tilde{w}_i$ می‌باشد که در رابطه (۷) نشان داده شده است و به‌صورت فازی بیان می‌شود. تابع عضویت $\alpha\tilde{w}_i(x)$ به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\tilde{w}_i = (\alpha_i[L_{i1}, L_{i2}], \beta_i, \gamma_i, \delta_i[U_{i1}, U_{i2}]) \quad (۷)$$

$$\mu_{\tilde{w}_i}(x) = \begin{cases} 0, & x < \alpha_i \\ -L_{i2}/2L_{i1} + \left\{(L_{i2}/2L_{i1})^2 + (x-\alpha_i)/L_{i1}\right\}^{1/2}, & \alpha_i < x < L_{i1}y^2 + L_{i2}y + \alpha_i \\ w_i, & L_{i1}y^2 + L_{i2}y + \alpha_i < x < U_{i1}y^2 + U_{i2}y + \delta_i \\ -U_{i2}/2U_{i1} + \left\{(U_{i2}/2U_{i1})^2 + (x-\delta_i)/U_{i1}\right\}^{1/2}, & U_{i1}y^2 + U_{i2}y + \delta_i < x < \delta_i \\ 0, & x > \delta_i \end{cases} \quad (۸)$$

$$\alpha_i = (\sum \alpha_{ik}\varepsilon_k)/KL \ , \ \beta_i = (\sum \beta_{ik}\varsigma_k)/KL, \ \gamma_i = (\sum \gamma_{ik}\eta_k)/KL, \quad \delta_i = (\sum \delta_{ik}\theta_k)/KL \quad (۹)$$

$$L_{i1} = \{\sum (\beta_{ik} - \alpha_{ik})(\varsigma_k - \varepsilon_k\}/KL, \quad L_{i2} = [\sum \{\alpha_{ik}(\varsigma_k - \varepsilon_k) + \varepsilon_k(\beta_{ik} - \alpha_{ik})\}]/KL \quad (۱۰)$$

$$U_{i1} = \{\sum (\delta_{ik} - \gamma_{ik})(\theta_k - \eta_k\}/KL, \quad U_{i2} = -[\sum \{\delta_{ik}(\theta_k - \eta_k) + \theta_k(\delta_{ik} - \gamma_{ik})\}]/KL \quad (۱۱)$$

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} w\{(x - x_{\min})/(x_{\max} - x_{\min})\}^r, & x_{\min} < x < x_{\max} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (۱۲)$$

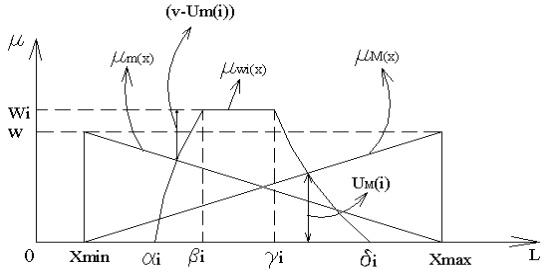
$$\mu_{\tilde{m}}(x) = \begin{cases} w\{(x - x_{\max})/(x_{\min} - x_{\max})\}^r, & x_{\min} < x < x_{\max} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (۱۳)$$

پارامترهای $\tilde{w}_i$ با استفاده از روابط (۹) تا (۱۱) بدست می‌آیند. K تعداد معیارها وL نشان دهنده بهترین حالت و بیشترین مقداری است که در جدول (۱) آمده است و برابر ۱۰ می‌باشد. $\alpha_{ij}^k, \beta_{ij}^k, \gamma_{ij}^k, \delta_{ij}^k$ در رابطه(۱) و $\varepsilon_{kj}, \zeta_{kj}, \eta_{kj}, \theta_{kj}$ در رابطه (۴) مشخص شده‌اند.

مرحله پنجم: در این مرحله، ابتدا توابع عضویت مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم به‌صورت اعداد فازی مثلثی تعریف می‌گردند و مقدار $x_{\max}$ و $x_{\min}$ بدست می‌آید، سپس مقدار مطلوبیت نهایی برای هر گزینه محاسبه می‌شود. توابع عضویت مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم (نشان داده شده در شکل ۲)، به‌صورت روابط (۱۲) و (۱۳) تعریف می‌شوند. شکل (۲) توابع عضویت مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم را نشان می‌دهد.

$$x_{\max} = \sup_{1<i<m}(\delta_i), \ x_{\min} = \inf_{1<i<m}(\alpha_i) \ , \quad w = \min_{1<i<m}(w_i) \quad (۱۴)$$

r میزان ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهد. اگر $r=2$ باشد، تصمیم‌گیرنده ریسک‌پذیر است. برای مقادیر بیشتر، مقدار ریسک‌پذیری افزایش می‌یابد. اگر $r=1$ باشد، تصمیم‌گیرنده متعادل است و توابع عضویت مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم خطی می‌باشد. اگر $r=1/2$ باشد، بیانگر این است که تصمیم‌گیرنده غیرریسک‌پذیر است. در بیشتر موارد، مقدار w برابر یک در نظر گرفته می‌شود، زیرا در اکثر موارد، از مجموعه‌های فازی نرمال استفاده می‌شود.



شکل ۲- توابع عضویت مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم

مقدار مطلوبیت نهایی هر گزینه با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید (Raj and Kumar, 1999).

$$\begin{aligned} U_T(i) &= \{U_M(i) + 1 - U_m(i)\}/2 \\ U_M(i) &= \sup_x \{\mu_{wi}(x) \cap \mu_M(x)\} \\ U_m(i) &= \sup_x \{\mu_{wi}(x) \cap \mu_m(x)\} \end{aligned} \quad (۱۵)$$

مرحله ششم: در این مرحله گزینه‌ها با توجه به مقدار مطلوبیت نهایی، اولویت‌بندی می‌شوند. گزینه‌ای که دارای بیشترین مقدار مطلوبیت باشد، در اولویت‌بندی بالاتری قرار می‌گیرد. اگر دو گزینه

www.SID.ir

Archive of SID

دارای مقدار مطلوبیت یکسانی باشند، شکل تابع عضویت $\tilde{w}_i$ تعیین کننده می‌باشد. گزینه‌ای که کشیدگی تابع عضویت آن به سمت راست بیشتر باشد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد. الگوریتم فوق توسط برنامه‌نویسی فرترن نوشته شد و برای منطقه مطالعاتی کارون بزرگ، مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- مطالعه موردی

از روش فوق برای اولویت‌بندی برخی از طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ استفاده شده‌است. کارون و دز مهمترین حوضه‌های آبریز در ایران، با پتانسیل آب قابل قبول می‌باشند که از جنوب و جنوب‌غربی رشته‌کوههای زاگرس سرچشمه می‌گیرند. در این تحقیق، ۱۰ طرح انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ، برای اولویت‌بندی درنظرگرفته شد که مشخصات طرح‌ها در جدول (۲) آمده است.

۲-۳- انتخاب معیارها

با توجه به درخت معیارها برای ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران (Zarghami, 2005) و بررسی معیارهایی که در کشورهای مختلف برای اولویت‌بندی طرح‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و با نظرخواهی از کارشناسان مربوطه، معیارهای موردنظر برای اولویت‌بندی در این تحقیق که شامل ۸ معیار می‌باشد، تعیین شدند که عبارتند از: سازگاری با قوانین آب کشور (C_1)، اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر (C_2)، ایجاد اختلاف بین ذینفعان (C_3)، اشتغال‌زایی و فقرزدایی (C_4)، تأثیر در اسکان مرزی (C_5)، نسبت سود به هزینه (C_6)، اولویت نوع مصارف (C_7)، اثرات منفی زیست‌محیطی (C_8).

برخی از معیارها به‌عنوان سود و برخی دیگر به‌صورت هزینه می‌باشند. در این تحقیق بجز اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر، ایجاد اختلاف بین ذینفعان و اثرات منفی زیست‌محیطی، بقیه معیارها، معیارهای سود می‌باشند. یعنی هرچه بیشتر باشند، شرایط بهتری بوجود می‌آید.

۲-۴- ورودی‌های مدل

ورودی‌های مدل، شامل وزن معیارها و نسبت ارجحیت هر گزینه با توجه به معیارهای موردنظر می‌باشد. پرسش‌نامه‌هایی جهت وزن‌دهی معیارهای اولویت‌بندی طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای، تهیه شدند. پرسش‌نامه‌ها شامل ۸ معیار تعیین شده و میزان اهمیت آنها به‌صورت ۷ گزینه بیانی به‌صورت بسیارکم، کم، تاحدودی‌کم، متوسط، تاحدودی‌زیاد، زیاد و بسیارزیاد بودند. برای تعیین وزن معیارها، این پرسش‌نامه‌ها به ۵ کارشناس مرتبط با مسائل آب داده‌شد و هریک از کارشناسان نظرات خود را درباره وزن معیارها به‌صورت بیانی، در پرسش‌نامه‌ها مطرح کردند. نظرات هریک از کارشناسان در جدول (۳) آمده‌است. عبارت‌های این جدول شامل VH : خیلی‌زیاد، H : زیاد، MH : تاحدودی‌زیاد، M : متوسط، L: کم، ML : تاحدودی‌کم و VL : بسیارکم می‌باشند. برای ارزیابی نسبت ارجحیت گزینه‌ها باتوجه به هریک از معیارها، از نظر سه کارشناس استفاده شده که نظرات آنها درجداول (۴) تا (۱۱) آمده‌است.

جدول۲- ده طرح موردنظر از انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ برای اولویت‌بندی

ردیف	نام پروژه	حوضه مبدأ	حوضه مقصد	وضعیت طرح
A_1	ماربر	کارون بزرگ	ابرقو- سیرجان	در دست مطالعه
A_2	تونل اول کوهرنگ	کارون بزرگ	زاینده رود	در حال بهره‌برداری
A_3	تونل دوم کوهرنگ	کارون بزرگ	زاینده رود	در حال بهره‌برداری
A_4	تونل سوم کوهرنگ	کارون بزرگ	زاینده رود	در دست اجرا
A_5	انتقال آب سولکان به رفسنجان	کارون بزرگ	کویر در انجیر	در دست مطالعه
A_6	چشمه لنگان	کارون بزرگ	زاینده رود	در دست اجرا
A_7	تونل خدنگستان و چغیورت	کارون بزرگ	زاینده رود	در دست مطالعه
A_8	انتقال آب دز به قمرود	کارون بزرگ	دریاچه نمک	در دست اجرا و مطالعه
A_9	انتقال آب از بهشت‌آباد	کارون بزرگ	زاینده رود	در دست مطالعه
A_{10}	گوکان	کارون بزرگ	زاینده رود	در دست مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳- نظرات کارشناسان درباره وزن معیارها

	D1	D2	D3	D4	D5
C1	(5,6,7,8)	(6,7,8,9)	(1,2,3,4)	(3,4,5,6)	(7,8,10,10)
C2	(5,6,7,8)	(7,8,10,10)	(6,7,8,9)	(7,8,10,10)	(5,6,7,8)
C3	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)	(7,8,10,10)	(4,5,5,6)
C4	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)	(7,8,10,10)	(6,7,8,9)
C5	(6,7,8,9)	(3,4,5,6)	(4,5,5,6)	(6,7,8,9)	(7,8,10,10)
C6	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
C7	(6,7,8,9)	(7,8,10,10)	(7,8,10,10)	(5,6,7,8)	(7,8,10,10)
C8	(7,8,10,10)	(5,6,7,8)	(6,7,8,9)	(7,8,10,10)	(5,6,7,8)

جدول ۴- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار اول

C1	D1	D2	D3
A1	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A2	(4,5,5,6)	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)
A3	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A4	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A5	(3,4,5,6)	(1,2,3,4)	(4,5,5,6)
A6	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A7	(3,4,5,6)	(1,2,3,4)	(4,5,5,6)
A8	(1,2,3,4)	(3,4,5,6)	(4,5,5,6)
A9	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(3,4,5,6)
A10	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)

جدول ۵- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار دوم

C2	D1	D2	D3
A1	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)
A2	(0,0,2,3)	(1,2,3,4)	(3,4,5,6)
A3	(0,0,2,3)	(1,2,3,4)	(4,5,5,6)
A4	(4,5,5,6)	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)
A5	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)	(6,7,8,9)
A6	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
A7	(5,6,7,8)	(6,7,8,9)	(4,5,5,6)
A8	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A9	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A10	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)

جدول ۶- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار سوم

C3	D1	D2	D3
A1	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)	(6,7,8,9)
A2	(3,4,5,6)	(3,4,5,6)	(3,4,5,6)
A3	(3,4,5,6)	(3,4,5,6)	(5,6,7,8)
A4	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(6,7,8,9)
A5	(7,8,10,10)	(7,8,10,10)	(7,8,10,10)
A6	(3,4,5,6)	(4,5,5,6)	(6,7,8,9)
A7	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
A8	(7,8,10,10)	(7,8,10,10)	(6,7,8,9)
A9	(7,8,10,10)	(7,8,10,10)	(6,7,8,9)
A10	(7,8,10,10)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)

جدول ۷- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار چهارم

C4	D1	D2	D3
A1	(1,2,3,4)	(3,4,5,6)	(6,7,8,9)
A2	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(6,7,8,9)
A3	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
A4	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)
A5	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)
A6	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)
A7	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
A8	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
A9	(7,8,10,10)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)
A10	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)

در جداول (۳) تا (۱۱)، A_i ها، گزینه‌ها (طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای)، C_i ها، معیارها و D_i ها، تصمیم‌گیرنده‌ها می‌باشند که نظرات بیانی آنها با استفاده از جدول (۱) به اعداد فازی ذوزنقه‌ای تبدیل شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار پنجم

C5	D1	D2	D3
A1	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A2	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A3	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A4	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A5	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A6	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A7	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A8	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A9	(1,2,3,4)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A10	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)

جدول۹- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار ششم

C6	D1	D2	D3
A1	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A2	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A3	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A4	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A5	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A6	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A7	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A8	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A9	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A10	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)

جدول ۱۰- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار هفتم

C7	D1	D2	D3
A1	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A2	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A3	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A4	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A5	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)	(0,0,2,3)
A6	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A7	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A8	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)
A9	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)
A10	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)

جدول۱۱- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیار هشتم

C8	D1	D2	D3
A1	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)
A2	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(0,0,2,3)
A3	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)
A4	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
A5	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
A6	(6,7,8,9)	(6,7,8,9)	(5,6,7,8)
A7	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)
A8	(7,8,9,10)	(6,7,8,9)	(4,5,5,6)
A9	(4,5,5,6)	(4,5,5,6)	(5,6,7,8)
A10	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)

۳- نتایج مدل و بحث

وزن معیارها و نسبت‌های گزینه‌ها، انبوهش شده و سپس مقدار $\tilde{w}_i$ با استفاده از رابطه (۷) برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه می‌شود که مقادیر بدست آمده بصورت زیر می‌باشد.

مقادیر $X_{\max}$ ، $X_{\min}$ و w با استفاده از رابطه (۱۴) بدست می‌آیند.

$$X_{\min} = 1.047 \quad ; \quad X_{\max} = 5.789 \quad ; \quad w = 1$$

توابع عضویت ماکزیمم و مینیمم به‌صورت اعداد فازی مثلثی تعریف می‌شوند و مقدار $X_{\max}$ و $X_{\min}$ بدست می‌آید. سپس مقدار مطلوبیت نهایی برای هر گزینه محاسبه می‌شود. مقدار r برابر با یک درنظرگرفته شده‌است.

$$\tilde{w}_1 = (1.18[0.0875,0.694],1.962,2.972,4.077[0.0725,-1.177]) \quad \tilde{w}_2 = (2.274[0.0875,0.885],3.247,4616,5.789[0.0675,-1.243])$$

$$\tilde{w}_3 = (2.1[0.0875,0.852],3.045,4.246,5.42[0.07,-1.243]) \quad \tilde{w}_4 = (1.6[0.0875,0769],2.45,3.47,4.63[0.0725,-1.225])$$

$$\tilde{w}_5 = (1.047[0.0625,0.523],1.633,2.835,3.94[0.0725,-1.177]) \quad \tilde{w}_6 = (1.793[0.0875,0.81],2.691,3.627,4.807[0.0725,-1.252])$$

$$\tilde{w}_7 = (1.532[0.0875,0.752],2.372,3.4,4.543[0.0725,-1.215]) \quad \tilde{w}_8 = (1.457[0.075,0.664],2.196,3.379,4.5[0.0725,-1.196])$$

$$\tilde{w}_9 = (1.1.475[0.0833,0.715],2.274,3.337,4.44[0.0691,-1.171]) \quad \tilde{w}_{10} = (1.981[0.0833,0.82],2.885,4.11,5.33[0.0725,-1.291])$$

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} w\{(x-1.047)/(5.789-1.047)\}, & 1.047 < x < 5.789 \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{m}}(x) = \begin{cases} w\{(x-5.789)/(1.047-x_{\max})\}, & 1.047 < x < 5.789 \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار مطلوبیت نهایی هر یک از گزینه‌ها با استفاده از رابطه (۱۵)، در جدول (۱۲) نشان داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود،گزینه دوم، یعنی تونل اول کوهرنگ، در اولویت اول قرار دارد. اگر دو گزینه دارای مقدار مطلوبیت یکسانی باشند، شکل تابع عضویت $\widetilde{w}_i$ تعیین‌کننده می‌باشد. گزینه‌ای که کشیدگی تابع عضویت آن به سمت راست بیشتر باشد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد.

جدول ۱۲- مطلوبیت نهایی گزینه‌ها

رتبه‌بندی	مقدار مطلوبیت	گزینه‌ها
1	0.59063	تونل اول کوهرنگ
2	0.54214	تونل دوم کوهرنگ
3	0.5196	گوکان
4	0.46022	چشمه لنگان
5	0.42707	تونل سوم کوهرنگ
6	0.41281	تونل خدنگستان
7	0.39823	بهشت آباد
8	0.39678	دز به قمرود
9	0.33932	ماربر
10	0.3003	سولکان

در حالتی‌که به سود و هزینه بودن معیارها توجهی نمی‌شود، گزینه‌های ۲ و۳ که نسبت به معیارهای هزینه دارای مقادیر بسیار کم یا کم هستند، در اولویت‌های آخر قرار می‌گیرند، درصورتی‌که، هرچه نسبت‌های ارجحیت گزینه‌ای نسبت به معیارهای هزینه کمتر باشد، بهتر است و آن گزینه در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود، در شرایطی که در مسائل تصمیم‌گیری، هم معیارهای سود و هم معیارهای هزینه وجود دارد، جهت تبدیل عبارت‌های بیانی به اعداد فازی ذوزنقه‌ای از جدول ارائه شده در این مقاله، جدول(۱)، استفاده شود.

در نهایت، نتایج بدست آمده از روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم، با نتایج بدست آمده از نرم‌افزار تصمیم‌گیری فازی FDM مقایسه شد. اساس کار نرم‌افزار FDM بر پایه روش Fuzzy TOPSIS می‌باشد. جدول (۱۳) مقایسه نتایج روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم فازی با نرم‌افزار FDM را نشان می‌دهد. چون این نرم‌افزار قابلیت تصمیم‌گیری گروهی را ندارد، ابتدا اطلاعات ورودی انبوهش شده و سپس اطلاعات انبوهش شده به نرم‌افزار داده شد. اختلاف موجود در رتبه برخی از گزینه‌ها می‌تواند به همین دلیل باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود، تونل اول کوهرنگ، تونل دوم کوهرنگ و گوکان در اولویت‌های بالاتر و ماربر و سولکان در رتبه‌های پایین‌تر قرار دارند. بهتر است برای گزینه‌هایی که دارای امتیازهای نزدیک به‌هم می‌باشند، از معیارهای بیشتری برای تعیین اولویت‌بندی استفاده شود.

جدول ۱۳- مقایسه نتایج روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم و نرم‌افزار FDM

ردیف	FDM	امتیاز	مجموعه‌هایmaxوmin	امتیاز
1	گوکان	191.28	تونل اول کوهرنگ	0.59063
2	تونل اول کوهرنگ	162.45	تونل دوم کوهرنگ	0.54214
3	تونل دوم کوهرنگ	154.82	گوکان	0.5196
4	چشمه لنگان	139.58	چشمه لنگان	0.46022
5	تونل خدنگستان	137.68	تونل سوم کوهرنگ	0.42707
6	بهشت آباد	119.89	تونل خدنگستان	0.41281
7	تونل سوم کوهرنگ	110.37	بهشت آباد	0.39823
8	دز به قمرود	108.89	دز به قمرود	0.39678
9	ماربر	89.64	ماربر	0.33932
10	سولکان	57.85	سولکان	0.3003

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها

1- Multiple Attribute Decision Making
2- Compromise Programming
3- Fuzzy Decision Marking

۴- مراجع

Adamo, J. M. (1980), "Fuzzy decision trees," *Fuzzy sets and systems*, 4, pp. 207-219.

Chen, S. J. and Hwang, C. L. (1992), *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*, Springer-Verlage.

Ardakanian, R. and Zarghami, M. (2004), "Sustainability criteria for ranking of water resources projects," *First National Conference of Water Resources Management, IRWRA: Iranian Water Resources Association*, Tehran, Iran.

Chen, S. J. (1985), "Ranking of fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set," *Fuzzy Sets and Systems*, 17, pp. 113-129.

Duboise, D. and Prade, H. (1983), "Ranking fuzzy numbers in the setting of possibility theory," *Information Sciences*, 30, pp. 183-224.

Jain, R. (1977), "A procedure for multiple-aspects decision making using fuzzy set," *Int. Journal of Systems Science*, 8, pp. 1-7.

Raju, S. K., Duckstien, L. and Arondel, C. (2000), "Multicreterion Analysis for Sustainable Water Resources planning : A Case Study in Spain," *Water Resources Managemen*, 14, pp. 435-456.

Raj, A. P. and Kumar, N. D. (1998), "Ranking multi-criterion river basin planning alternatives using fuzzy numbers," *Fuzzy Sets and Systems*, 100, pp. 89-99.

Raj, A. P. and Kumar, N. D. (1999), "Ranking Alternatives with Fuzzy weights using Maximizing set and Minimizing set," *Fuzzy Sets and Systems*, 105, pp. 365-375.

Yager, R. R. (1980), "On a General Class of Fuzzy Connectives," *Fuzzy Sets and Systems*, 4, pp. 235-242.

Zadeh, L. A. (1965), "Fuzzy Sets," *Information & Control*, 8, pp. 338-353.

Zarghaami, M. (2005), "Uncertain Criteria in Ranking Inter-basin Water Transfer Projects in Iran," *73 rd Annual Meeting of ICOLD*, Tehran, 180-S1.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ شهریور ۱۳۸۵
تاریخ اصلاح مقاله: ۸ خرداد ۱۳۸۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۷ آبان ۱۳۸۶

www.SID.ir