تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفتم، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۰
Volume 7, No. 3, Fall 2011 (IR-WRR)
۱-۱۲

مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای گروهی فازی در اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب

سیده لیلا رضوی طوسی[۱*]، جمال محمدولی سامانی[۲] و امین کوره پزان دزفولی[۳]

چکیده

منابع آبی، بنیان اصلی توسعه پایدار کشورهاست. توزیع غیریکنواخت مکانی و زمانی منابع آب، یکی از عوامل کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد که انتقال آب بین‌حوضه‌ای به‌عنوان یک راه‌حل برای رفع این مشکل مطرح می‌شود. به علت تعدد پروژه‌های قابل اجرا و هزینه زیاد اجرای همزمان آنها، ترتیب اجرای این پروژه‌ها اهمیت می‌یابد. بنابراین یکی از مسائل مهم مطرح در مدیریت منابع آب، اولویت‌بندی پروژه‌هاست. تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی، یک روش مناسب برای مقایسه، انتخاب و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف با در نظرگرفتن معیارهای متفاوت، می‌باشد. در این تحقیق از سه روش تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی به نامهای روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم فازی، روش بونیسون در شرایط تصمیم‌گیری گروهی و روشFuzzy TOPSIS گروهی برای اولویت‌بندی برخی از پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ با در نظرگرفتن معیارهای مختلف، استفاده شده است. برای اولویت‌بندی گزینه‌ها، از نرم‌افزار FDM نیز استفاده شده است. گزینه‌ها شامل۱۰ طرح انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ با ۸ معیار مختلف می‌باشند که در ابتدا وزن معیارها، توسط ۵ کارشناس خبره در زمینه منابع آب مشخص می‌شوند. سپس بر اساس معیارهای انتخاب شده، نسبت ارجحیت هر گزینه توسط کارشناسان تعیین می‌شود. در نهایت نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در کلیه روش‌ها، تونل اول کوهرنگ در اولویت بالاتری نسبت به گزینه‌های دیگر قرار دارد. همچنین ضریب همبستگی اولویت‌بندی Spearman برای تعیین نزدیکی نتایج روش‌های مختلف به‌کار برده شده است که براساس نتایج بدست آمده، روش بونیسون و روش Fuzzy TOPSIS دارای بیشترین ضریب همبستگی می‌باشند. برای بررسی تأثیر وزن معیارها، تحلیل حساسیت بر روی وزن معیارها انجام و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای، اولویت‌بندی، فازی، پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۹ آذر۱۳۸۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۶ مهر ۱۳۹۰

۱- دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- کارشناس ارشد عمران آب، وزارت نیرو، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول

Comparison of Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making Methods for Ranking Water Transfer Projects

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

Abstract

Water resources are among basics for sustainable development. The non uniform temporal and spatial distribution of water resources is led to shortage water in arid and semi arid regions. The inter basin water transfer projects are one remedy to this problem. According to the diversity of the feasible water transfer projects, ranking of the projects with different criteria is currently one of the important issues in water resources management. Fuzzy Multiple Criteria Decision Making (FMADM) is a collection of methodologies which can be used to compare, select, or rank multiple alternatives that typically involve incommensurate attributes. The aim of this research was to use some of the fuzzy multiple attribute group decision making methods for ranking some inter-basin water transfer projects of Karoon River, western Iran. Maximizing and minimizing sets method, the Bonissone's method for group decision making, Fuzzy TOPSIS for group decision making, and Fuzzy Decision Making software were used in this study. A set of 10 inter-basin water transfer projects with 8 criteria were considered. First, the weight of each criterion was determined within a group of five water resources experts, Then the rating preference for each alternative were obtained by the same group of experts. Finally, the results of different methods were compared. The results showed that the Tunnel Koohrang 1 posses the higher rank. Also, the Spearman rank correlation coefficient was obtained between different methods. The results showed that the Fuzzy TOPSIS and Bonissone method provide the best correlation. For evaluating the criteria weightings, the sensitivity analysis was conducted and the results were compared.

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

Received: December 19, 2008
Accepted: September 28, 2011

1- Ph.D. candidate, Department of water structures, College of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: l_razavi@modares.ac.ir
2- Professor, Department of water structures, College of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
3- M.Sc. Environment and Water Research Center, Ministry of energy, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

امروزه کمبود آب یکی از مهمترین مسائل در زمینه منابع آب می‌باشد. در بسیاری از کشورها، تحقیقاتی در راستای پروژه‌های منابع آب برای تأمین نیازهای موجود انجام شده است. افزایش میزان مصرف آب و محدود بودن منابع آب، جهان را در آستانه بحران قرار داده است. تأمین آب از منابع جدید اغلب پر هزینه است و ممکن است پایداری منابع آب را به مخاطره اندازد. بنابراین مدیریت تقاضای آب در جهت ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب راه حل بهتری می‌باشد که لازم است در آن معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی لحاظ شوند. یکی از مسائل مطرح در مدیریت منابع آب، اولویت‌بندی طرح‌ها با در نظرگرفتن معیارهای مختلف می‌باشد.

پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای یک گزینه مناسب برای تعادل توزیع غیر یکنواخت مکانی و زمانی منابع و نیازهای آبی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Karamouz et al., 2010). یکی از مشکل‌ترین و در عین حال مهمترین مسائل موجود در مدیریت منابع آب، اولویت‌بندی پروژه‌های قابل اجرا با توجه به معیارهای مختلف است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM)[1] به‌عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای مقایسه، انتخاب و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف در شرایط وجود معیارهای گوناگون که اغلب در تضاد با یکدیگرند، می‌باشد. انتخاب پروژه‌های انتقال آب باید بر اساس لحاظ کردن معیارهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و ... انجام شود. بنابراین، ارزیابی و انتخاب پروژه‌های انتقال آب به عنوان یک مسأله MADM مطرح می‌شود. در اغلب مسائل MADM، تصمیم‌گیرنده با انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های مختلف با در نظر گرفتن معیارهای متفاوت روبرو می‌باشد (Liu and Kong, 2005). اصلی‌ترین بخش مسائل MADM ماتریس تصمیم‌گیری است. ستون‌های این ماتریس، شاخص‌ها، و ردیفهای آن، گزینه‌ها می‌باشند. عناصر این ماتریس، نسبت ارجحیت هر یک از گزینه‌ها را با در نظر گرفتن معیارهای مختلف نشان می‌دهند. این روش‌ها بطور کلی شامل: جمع‌آوری اطلاعات مربوط به وزن معیارها و ارجحیت گزینه‌ها بر اساس هر معیار، انبوهش وزن معیارها و محاسبه مقادیر مربوط به هر گزینه با توجه به کلیه معیارها و در نهایت محاسبه اولویت‌بندی نهایی و تعیین بهترین گزینه می‌باشند (Zeshuni, 2007). تحقیقات زیادی در زمینه مدیریت منابع آب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای انجام شده‌است. Marks and Cohon (1975) استفاده از روش‌های چندمعیاره را در زمینه مدیریت منابع آب مورد بررسی قرار دادند. Srdjevic et al. (2004) ، از روشTOPSIS و روشCP[2]، برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده کرده‌اند.

Raju et al. (2000) از پنج روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل PROMETHEE2، ELECTRE3، روش CP، EXPROM2 و ELECTRE4 برای اولویت‌بندی طرح‌های منابع آب در اسپانیا استفاده کرده و نتایج حاصل از این روش‌ها را با یکدیگر مقایسه نمودند. با پیدایش تئوری مجموعه‌های فازی، روش‌های بسیاری در اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محیط فازی در دهه‌های اخیر بوجود آمد. تئوری فازی، اولین بار توسط Zadeh (1965)، در مقاله‌ای به‌نام مجموعه‌های فازی بیان شد. تحقیقات زیادی در زمینه اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از مجموعه‌های فازی انجام شد. در این راستا، تحقیقی توسط Simonovic and Prodanovic (2002) برای ارزیابی گزینه‌های مختلف در تصمیم‌گیری پروژه‌های منابع آب با استفاده از روشFCP[3] انجام شد. Chen (2000) روش Fuzzy TOPSIS را برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در شرایط تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی، توسعه داد. Raj and Kumar (1998) ، روشی را برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در شرایط تصمیم‌گیری گروهی، با استفاده از مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم و وزن‌های فازی ارائه دادند و از این روش برای اولویت‌بندی طرح‌های حوضه‌آبریز رودخانه Krishna در هند استفاده کردند. روش نرخ سازگاری برای FMAGDM[4] با معرفی ضریب اولویت‌بندی توسط Li (2007) توسعه داده شد. ضریب اولویت‌بندی براساس این مفهوم است که انتخاب گزینه‌ها بر اساس نزدیک بودن به راه‌حل ایده‌آل و دور بودن از راه‌حل غیرایده‌آل انجام می‌گیرد. تحقیقی در زمینه مدیریت حوضه آبریز Melana با استفاده از روش‌های چندشاخصه‌ای فازی توسط Yaccob (2007) انجام شد. تحقیقی توسط Zarghaami (2005) در زمینه معرفی معیارهای اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب در ایران انجام گرفت که در این تحقیق درخت معیارها برای ارزیابی پروژه‌های آبی در ایران معرفی شد. همچنین Zarghaami et al. (2007) ارزیابی پروژه‌های حوضه زاینده‌رود را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری فازی بررسی نمودند. Zarghami et al. (2008) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت آب شهری نیز استفاده کردند.

تحقیق دیگری توسط Zarghami et al.(2009) انجام شد که شامل ارائه یک روش جدید بر اساس ترکیب عملگر OWA و فازی در زمینه پروژه‌های آب بین‌حوضه‌ای می‌باشد. رضوی و همکاران (۱۳۸۶) از روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم برای اولویت‌بندی طرح‌های انتقال آب استفاده کردند. به‌طورکلی، اولویت‌بندی گزینه‌ها در شرایطی که امکان اجرای تمام پروژه‌ها بطور همزمان وجود

Archive of SID

www.SID.ir

نداشته باشد، بسیار مهم می‌باشد. به‌خصوص در شرایطی که از معیارهای مختلف و تصمیم‌گیری گروهی استفاده شود. در راستای اهمیت این موضوع در عرصه مدیریت و برنامه‌ریزی، در این مقاله سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی فازی و همچنین نرم‌افزار FDM برای اولویت‌بندی برخی از طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ، استفاده شده‌است و در نهایت، نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده‌اند که در مقاله‌ای توسط رضوی و همکاران (۱۳۸۶) ارائه شده است، فقط از روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم فازی برای اولویت‌بندی استفاده شد و نتایج آن با نرم افزار FDM در حالتی که ورودی نرم‌افزار بصورت عدد فازی ذوزنقه‌ای بود، مقایسه شد. هدف از این تحقیق استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی فازی است. به‌طوری‌که علاوه بر روش مجموعه‌های حداکثر و حداقل ، از روش‌های Fuzzy TOPSIS ، بونیسون و نرم افزار FDM در حالتی که ورودی‌های نرم‌افزار به صورت اعداد فازی مربوط به هر یک از روش‌هاست، استفاده شده است. سپس نتایج اولویت‌بندی بدست آمده از هر یک از روش‌ها با یکدیگر مقایسه شده و میزان همبستگی بین آنها با استفاده از ضریب همبستگی Spearman محاسبه شده‌است. از آنجا که تغییر وزن هر یک از معیارها می‌تواند در اولویت‌بندی نهایی تأثیرگذار باشد، تحلیل حساسیت بر روی وزن معیارها انجام شده است. در واقع تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که کدام معیار در اولویت‌بندی هر گزینه مؤثرتر است.

۲- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی

۲-۱- روش مجموعه‌های حداکثر و حداقل

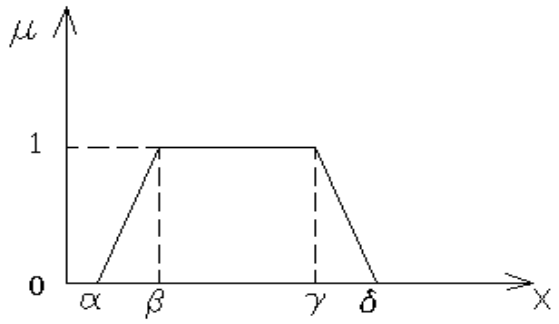
در این روش، اولویت‌بندی گزینه‌ها با معیارهای مختلف و در فضای تصمیم‌گیری گروهی، با استفاده از اعداد فازی ذوزنقه‌ای انجام می‌گیرد و در نهایت مقدار مطلوبیت نهایی گزینه‌ها بدست می‌آید. بنابراین، گزینه‌ای که دارای بیشترین مقدار مطلوبیت باشد در اولویت نخست قرار می‌گیرد. اولین مرحله تبدیل عبارت‌های بیانی نظرات هریک از تصمیم‌گیرنده‌ها به اعداد فازی ذوزنقه‌ای است که بر اساس جدول ۱ انجام می‌شود. عدد فازی ذوزنقه‌ای در این روش، در شکل ۱ نشان داده شده است. مراحل بعدی این روش و چگونگی محاسبه مطلوبیت نهایی گزینه‌ها، در رضوی (۱۳۸۶) ارائه شده است.

۲-۲- روش بونیسون گروهی

یکی دیگر از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش بونیسون است که در این مقاله برای تصمیم‌گیری گروهی توسعه داده شده است.

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

اعداد ذوزنقه ای	معیار سود	معیار هزینه	وزن معیارها
(۳و۲و۰و۰)	بسیارکم	بسیارزیاد	بسیارکم
(۴و۳و۲و۱)	کم	زیاد	کم
(۶و۵و۴و۳)	نسبتاً کم	نسبتاًزیاد	نسبتاً کم
(۶و۵و۵و۴)	متوسط	متوسط	متوسط
(۸و۷و۶و۵)	نسبتاًزیاد	نسبتاً کم	نسبتاًزیاد
(۹و۸و۷و۶)	زیاد	کم	زیاد
(۱۰و۱۰و۸و۷)	بسیارزیاد	بسیارکم	بسیارزیاد



شکل ۱- عدد فازی ذوزنقه‌ای روش مجموعه‌های حداکثر و حداقل

در این روش برای تبدیل عبارت‌های بیانی، از اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شده‌است، که عدد فازی ذوزنقه‌ای در این روش بصورت رابطه (۱) تعریف می‌شود. در این رابطه، $\tilde{r}_{ij}^{k}$ عدد فازی ذوزنقه‌ای است که نظر تصمیم‌گیرنده k را در مورد نسبت ارجحیت گزینه i با درنظرگرفتن معیار j نشان می‌دهد. تابع عضویت عدد فازی ذوزنقه‌ای روش بونیسون، در شکل ۲ نشان داده شده است. در این روش، برای تبدیل عبارت‌های بیانی وزن معیارها و نسبت‌های گزینه‌ها از اعداد فازی ذوزنقه‌ای که در جدول ۲ آمده است، استفاده می‌شود. در تبدیل عبارت‌های بیانی به اعداد فازی، به سود یا هزینه بودن معیارها توجه می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij}^{k} = (a_{ij}^{k}, b_{ij}^{k}, l_{ij}^{k}, r_{ij}^{k}) \qquad (۱)$$

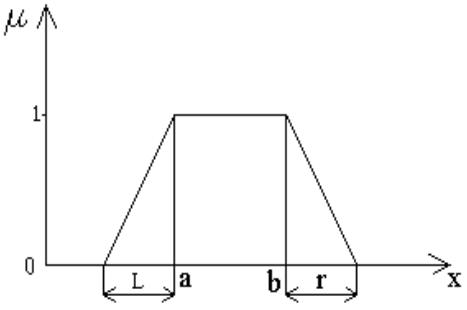
$$\tilde{r}_{ij} = \frac{1}{k}\left[\tilde{r}_{ij}^{1}(+)\tilde{r}_{ij}^{2}(+)...(+)\tilde{r}_{ij}^{k}\right] \qquad (۲)$$

$$\tilde{w}_{j} = \frac{1}{k}\left[\tilde{w}_{j}^{1}(+)\tilde{w}_{j}^{2}(+)...(+)\tilde{w}_{j}^{k}\right] \qquad (۳)$$

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- تبدیل عبارت‌های بیانی به اعداد فازی ذوزنقه‌ای روش بونیسون (Chen and Hwang, 1992)

حالت	عدد فازی ذوزنقه‌ای	سود شاخص	زیان شاخص	وزن شاخص
۱	(۰/۲و۰و۰و۰)	بسیارکم	بسیارزیاد	بسیار کم‌اهمیت
۲	(۰/۲و۰و۰/۱و۰)	کم	زیاد	کم‌اهمیت
۳	(۰/۲و۰/۲و۰/۲و۰/۲)	تا حدودی کم	تا حدودی زیاد	تا حدودی کم‌اهمیت
۴	(۰/۲و۰/۲و۰/۵و۰/۵)	مناسب	مناسب	بی‌تفاوت
۵	(۰/۲و۰/۲و۰/۸و۰/۸)	تا حدودی زیاد	تا حدودی کم	تا حدودی بااهمیت
۶	(۰/۲و۰و۱و۰/۹)	زیاد	کم	بااهمیت
۷	(۰/۲و۰و۱و۱)	بسیارزیاد	بسیارکم	بسیار بااهمیت



شکل ۲- عدد فازی ذوزنقه‌ای روش بونیسون

ابتدا ماتریس $\tilde{R}_j$ که ردیف‌های آن گزینه‌ها و ستون‌های آن تصمیم‌گیرنده‌ها می‌باشند و ماتریس وزن معیارها که ردیف‌های آن معیارها و ستون‌های آن تصمیم‌گیرنده‌ها می‌باشند، تشکیل می‌شوند. سپس انبوهش نظرات تصمیم‌گیرنده‌ها در مورد وزن معیارها و نسبت‌های گزینه‌ها با استفاده از روابط (۲) و (۳) انجام می‌گیرد. در این روابط، $\tilde{r}_{ij}^{k}$ عدد فازی ذوزنقه‌ای است که نظر تصمیم‌گیرنده k را در مورد نسبت ارجحیت گزینه i با درنظرگرفتن معیار j ام نشان می‌دهد و $\tilde{w}_j^k$ نیز عدد فازی ذوزنقه‌ای است که نظر تصمیم‌گیرنده k را در مورد وزن معیار j نشان می‌دهد. پس از تعیین $\tilde{r}_{ij}$ و $\tilde{w}_j$ ها مقدار تابع مطلوبیت برای گزینه‌های مختلف از رابطه (۴) و با استفاده از عملگرهای جبری که برای اعداد فازی ذوزنقه‌ای روش بونیسون تعریف شده‌اند، بدست می‌آید.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{w}_j \, \tilde{r}_{ij} \qquad (۴)$$

تابع مطلوبیت نهایی، به‌صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای می‌باشد که برای رتبه‌بندی آنها می‌توان از روش‌های اولویت‌بندی فازی استفاده کرد. در این مقاله، مقادیر فازی تابع عضویت با استفاده از شاخص یاگر به اعداد کلاسیک تبدیل می‌شوند. گزینه‌ای که دارای شاخص یاگر بیشتری باشد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد.

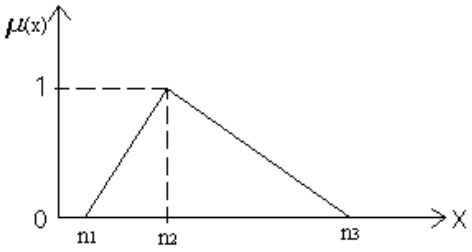
۲-۳- روش Fuzzy TOPSIS گروهی

در این روش، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود. ستون‌های این ماتریس معیارهای موردنظر و ردیف‌های آن، گزینه‌ها می‌باشند. عناصر این ماتریس، یعنی $\tilde{x}_{ij}^{k}$، عملکرد گزینه i را با درنظرگرفتن معیار j، توسط تصمیم‌گیرنده k نشان می‌دهند. ماتریس تصمیم‌گیری (D)، برای هر تصمیم‌گیرنده تشکیل می‌شود که در رابطه (۵) نشان داده شده است. k تعداد تصمیم‌گیرنده‌ها می‌باشد. سپس وزن معیارها بصورت بیانی، تعیین می‌شود. برای تبدیل عبارت‌های بیانی، از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود که در جدول ۳ نشان داده شده است. اگر $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، تابع عضویت آن در این روش، بصورت رابطه (۶) و شکل ۳ تعریف می‌شود.

$$\tilde{D}^k = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}^k & \tilde{x}_{12}^k & \cdots & \tilde{x}_{1n}^k \\ \tilde{x}_{21}^k & \tilde{x}_{22}^k & \cdots & \tilde{x}_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1}^k & \tilde{x}_{m2}^k & \cdots & \tilde{x}_{m3}^k \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0 & x < n_1 \\ \dfrac{x - n_1}{n_2 - n_1} & n_1 \le x \le n_2 \\ \dfrac{x - n_3}{n_2 - n_3} & n_2 \le x \le n_3 \\ 0 & x > n_3 \end{cases} \qquad (۶)$$

www.SID.ir



شکل ۳- عدد فازی مثلثی

در این روش، برای تبدیل عبارت‌های بیانی وزن معیارها و نسبت‌های گزینه‌ها از اعداد فازی مثلثی که در جدول ۳ آمده است، استفاده می‌شود.

جدول ۳- تبدیل وزن معیارها و نسبت‌های گزینه‌ها به اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی (وزن معیارها)	عبارت‌های بیانی	اعداد فازی مثلثی (نسبت ارجحیت گزینه‌ها)
(۰و۰و۰/۱)	خیلی کم(VL)	(۰و۰و۱)
(۰و۰/۱و۰/۳)	کم(L)	(۰و۱و۳)
(۰/۱و۰/۳و۰/۵)	نسبتاً کم(ML)	(۱و۳و۵)
(۰/۳و۰/۵و۰/۷)	متوسط(M)	(۳و۵و۷)
(۰/۵و۰/۷و۰/۹)	نسبتاً زیاد(MH)	(۵و۷و۹)
(۰/۷و۰/۹و۱)	زیاد(H)	(۷و۹و۱۰)
(۰/۹و۱و۱)	بسیار زیاد(VH)	(۹و۱۰و۱۰)

در نهایت پس از نرمال‌سازی و وزن‌دهی ماتریس تصمیم‌گیری، فاصله هر یک از گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت و منفی بدست می‌آید و ضریب نزدیکی هر یک از گزینه‌ها با استفاده از رابطه (۷) مشخص می‌شود. d_i^- و d_i^* به ترتیب نشان‌دهنده فاصله از ایده‌آل منفی و مثبت می‌باشند. گزینه‌ای که دارای ضریب نزدیکی بیشتری باشد، در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد (Chen, 2000).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}\ ,\ i = 1,2,...,m \qquad (۷)$$

۲-۴- نرم‌افزار FDM[5]

این نرم‌افزار توسط دکتر عزیز اله معماریانی در سال ۲۰۰۵ تهیه شد. داده‌های ورودی نرم‌افزار یکی از انواع قطعی، بیانی و فازی (مثلثی یا ذوزنقه‌ای) می‌باشند. وزن شاخص‌ها می‌تواند به‌صورت قطعی یا عددی باشد. ورود اطلاعات به نرم‌افزار شامل تعداد گزینه‌ها، تعداد شاخص‌ها، نوع وزن شاخص‌ها، سود و هزینه‌بودن شاخص‌ها و نوع داده‌ها می‌باشد. سپس اطلاعات گزینه‌ها و وزن شاخص‌ها در بخش‌های مربوطه وارد می‌شوند. مرحله نهایی اجرای مدل می‌باشد. نتیجه نهایی، شامل اولویت‌بندی گزینه‌ها و امتیاز هریک از گزینه‌ها است. یکی از معایب نرم‌افزار تصمیم‌گیری فازی این است که برای تصمیم‌گیری گروهی طراحی نشده‌است. در این تحقیق، اطلاعات ورودی شامل ۱۰ گزینه و ۸ معیار بصورت بیانی می‌باشد. چون نرم‌افزار مذکور قابلیت اولویت‌بندی در شرایط تصمیم‌گیری گروهی را ندارد، برای اینکه مقایسه درستی بین نتایج نرم‌افزار FDM و روش‌های برنامه‌نویسی انجام شود، ابتدا نظرات هر یک از تصمیم‌گیرنده‌ها درباره نسبت ارجحیت گزینه‌ها بصورت بیانی به نرم‌افزار داده شد. سپس مجموع امتیازهای بدست آمده هریک از گزینه‌ها، توسط هر تصمیم‌گیرنده، مبنای اولویت‌بندی قرار گرفت. گزینه‌ای که دارای مجموع امتیازات بیشتری باشد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد. مبنای کار نرم‌افزار FDM بر اساس روش Fuzzy TOPSIS می‌باشد. ورودی‌های این نرم‌افزار می‌تواند به صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای، عدد فازی مثلثی و عبارت‌های بیانی نیز باشد.

۳- مطالعه موردی

از سه روش فوق و نیز از نرم‌افزار FDM، برای اولویت‌بندی برخی از طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ استفاده شده‌است. الگوریتم‌های سه روش فوق در برنامه‌نویسی فرترن نوشته شدند و برای منطقه مطالعاتی کارون بزرگ، استفاده شدند و به آسانی قابلیت افزایش گزینه‌ها و معیارها برای مناطق دیگر، در این الگوریتم‌ها وجود دارد. در این تحقیق، ۱۰ طرح انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ، برای اولویت‌بندی درنظرگرفته شد که مشخصات طرح‌ها در جدول ۴ آمده‌است.

۳-۱- انتخاب معیارها

یکی از مراحل مهم در اولویت‌بندی گزینه‌ها، انتخاب درست معیارها می‌باشد. به‌عبارت دیگر انتخاب معیارهای مناسب تأثیر زیادی در اولویت‌بندی درست گزینه‌ها دارد. معیارهای مناسب در زمینه‌های مختلف تصمیم‌گیری متفاوت می‌باشند. همچنین بنا بر قوانین حاکم بر هر کشور در زمینه‌های تحقیقاتی مختلف، ممکن است معیارهای مختلفی برای تصمیم‌گیری در زمینه‌های مختلف اتخاذ شود. در ایران، درخت معیارهای مؤثر در مدیریت منابع آب، توسط Zarghami (2005) ارائه شد. در این تحقیق با توجه به درخت معیارها در ایران و بررسی معیارهای موجود در مقالات تحقیقاتی مختلف، تعدادی از معیارها انتخاب شدند که در مرحله بعد با

Archive of SID

www.SID.ir

نظرخواهی از کارشناسان بخش آب وزارت نیرو، معیارهای نهایی برای اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب تعیین گردید. این معیارها شامل ۸ معیارند که هر کدام زیر معیاری از معیارهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی می‌باشند. این معیارها 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). معیارهای اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر، ایجاد اختلاف بین ذینفعان و اثرات منفی زیست‌محیطی به‌عنوان معیارهای هزینه می‌باشند یعنی اگر این معیارها برای گزینه‌ای زیاد باشند، امتیاز نهایی آن گزینه کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال در پروژه‌ای که دارای اثرات منفی زیست‌محیطی بیشتری است، امتیاز منفی افزایش می‌یابد. سایر معیارها، معیارهای سود می‌باشند. به‌عنوان مثال اگر پروژه‌ای دارای نسبت سود به هزینه بیشتری باشد، امتیاز مثبت آن افزایش می‌یابد. هرچه معیار سود برای گزینه‌ای افزایش یابد، شرایط بهتری برای آن گزینه بوجود می‌آید.

۳-۲- ورودی‌های مدل

همانطور که اشاره شد، مهمترین بخش در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد. ستون‌های این ماتریس، شاخص‌ها و ردیفهای آن، گزینه‌ها می‌باشند. عناصر این ماتریس، نسبت ارجحیت هریک از گزینه‌ها را با درنظر گرفتن معیارهای مختلف نشان می‌دهند. بنابراین ورودی‌های مدل شامل نسبت ارجحیت هر یک از گزینه‌ها با توجه به هر معیار برای تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری است. یکی دیگر از ورودی‌های مدل وزن معیارهاست که تعیین کننده تأثیر هر معیار در اولویت‌بندی نهایی می‌باشد. برای تهیه ورودی‌های مدل از نظرات کارشناسان خبره در وزارت نیرو استفاده شد. برای این منظور دو نوع پرسش‌نامه تهیه گردید. یکی برای تعیین وزن معیارها و دیگری برای تعیین نسبت ارجحیت هر یک از گزینه‌ها با در نظر گرفتن هر معیار. برای تعیین وزن معیارها، از نظرات ۵ کارشناس خبره مرتبط با مسائل آب در وزارت نیرو استفاده شد و هریک از کارشناسان نظرات خود را درباره وزن معیارها به‌صورت بیانی، در پرسش‌نامه‌ها مطرح کردند. این پرسش‌نامه‌ها شامل ۸ معیار بودند که در مقابل هر معیار، میزان اهمیت آنها به‌صورت ۷ گزینه بیانی بسیارکم، کم، تاحدودی‌کم، متوسط، تاحدودی زیاد، زیاد و بسیارزیاد وجود داشت. نظرات هریک از کارشناسان در جدول ۵ آمده‌است. عبارت‌های این جدول شامل VH : خیلی زیاد، H : زیاد، MH : تا حدودی زیاد، M : متوسط، L: کم، ML : تاحدودی‌کم و VL : بسیارکم می‌باشند. پرسش‌نامه دوم شامل تعیین نسبت ارجحیت هر گزینه با توجه به هر معیار می‌باشد که این پرسش‌نامه توسط سه کارشناس خبره در زمینه منابع آب در وزارت نیرو تکمیل شدند. به عنوان مثال، جدول ۶ نظرات کارشناس اول در مورد نسبت ارجحیت گزینه‌ها با توجه به معیارها را نشان می‌دهد.

جدول ۴- ده طرح موردنظر از انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ برای اولویت‌بندی

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

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷ اعداد فازی مثلثی مربوط به نسبت‌های جدول ۶ را در روش Fuzzy TOPSIS نشان می‌دهد. در نتیجه ورودی‌های مدل‌ها شامل ماتریس‌های تصمیم‌گیری بدست آمده از هر یک از کارشناسان می‌باشد که در هر روش ابتدا میانگین اعداد فازی محاسبه می‌شود.

ضریب همبستگی اولویت‌بندی Spearman، که توسط Gibbons (1971) معرفی شده‌است، برای تعیین مقدار همبستگی بین اولویت‌بندی‌های بدست آمده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی بکار برده می‌شود. اگر U_a و V_a نشان‌دهنده اولویت‌های بدست آمده از دو روش مختلف برای یک گزینه مانند a باشد، آنگاه ضریب همبستگی R بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = 1 - \frac{6\sum_{a=1}^{A} D_a^2}{A(A^2-1)} \qquad (۸)$$

a : نشان‌دهنده شماره گزینه‌هاست و $a = 1,2,...,A$ که A تعداد کل گزینه‌ها می‌باشد.

D_a : اختلاف بین دو اولویت‌بندی $(U_a - V_a)$ می‌باشد.

جدول ۵- ورودی‌های وزن معیارها برای هر تصمیم‌گیرنده

	D1	D2	D3	D4	D5
C1	MH	H	L	ML	VH
C2	MH	VH	H	VH	MH
C3	H	H	MH	VH	M
C4	M	M	MH	VH	H
C5	H	ML	M	H	VH
C6	M	M	MH	MH	MH
C7	H	VH	VH	MH	VH
C8	VH	MH	H	VH	MH

جدول ۶- نظر تصمیم‌گیرنده اول درباره نسبت ارجحیت هریک از گزینه‌ها با توجه به معیارها

E1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
C1	M	M	M	M	ML	M	ML	L	L	M
C2	H	VL	VL	M	M	M	MH	M	MH	MH
C3	H	ML	ML	MH	VH	ML	MH	VH	VH	VH
C4	L	MH	MH	H	H	H	MH	MH	VH	H
C5	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL	L	VL
C6	1	1	1	1	1	1.3	1	1	1	1.5
C7	M	M	M	M	VL	M	M	H	M	H
C8	H	L	L	M	M	H	MH	VH	M	MH

جدول ۷- اعداد فازی مثلثی روش Fuzzy TOPSIS بر اساس نظرات تصمیم‌گیرنده اول

E1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
C1	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(0,1,3)	(0,1,3)	(3,5,7)
C2	(7,9,10)	(0,0,1)	(0,0,1)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)
C3	(7,9,10)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(9,10,10)	(1,3,5)	(5,7,9)	(9,10,10)	(9,10,10)	(9,10,10)
C4	(0,1,3)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)
C5	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,0,1)
C6	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(7,9,10)
C7	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(0,0,1)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,10)	(3,5,7)	(7,9,10)
C8	(7,9,10)	(0,1,3)	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)	(9,10,10)	(3,5,7)	(5,7,9)

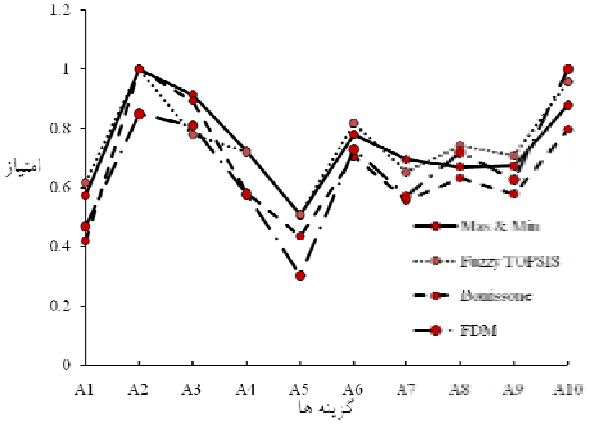
Archive of SID

www.SID.ir

۴- نتایج و بحث

در این بخش نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف که با استفاده از برنامه‌نویسی بدست آمده است با نتایج نرم‌افزار FDM مقایسه شده است. همانطور که اشاره شد، ورودی‌های نرم‌افزار می‌تواند به‌صورت بیانی، عدد فازی مثلثی و عدد فازی ذوزنقه‌ای باشد. بنابراین مرحله اول شامل مقایسه نتایج هریک از روش‌ها با نتایج بدست آمده از نرم‌افزار با ورودی‌های همان روش و مرحله بعدی شامل مقایسه روش‌های مختلف با یکدیگر می‌باشد. جدول ۸ نشان دهنده نتایج بدست آمده از روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم و نتایج نرم‌افزار FDM در شرایطی است که ورودی نرم‌افزار اعداد فازی ذوزنقه‌ای مربوط به روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم می‌باشد. ضریب همبستگی Spearman در این دو روش برابر با ۰/۸۳ بدست آمده است. جدول ۹ نشان دهنده نتایج بدست آمده از روش Fuzzy TOPSIS و نتایج نرم‌افزار FDM در شرایطی است که ورودی نرم‌افزار اعداد فازی مثلثی مربوط به روش Fuzzy TOPSIS می‌باشد. ضریب همبستگی Spearman در این دو روش برابر با ۰/۹۷۵ بدست آمده است. جدول ۱۰ نشان دهنده نتایج بدست آمده از روش بونیسون گروهی و نتایج نرم‌افزار FDM در شرایطی است که ورودی نرم‌افزار اعداد فازی ذوزنقه‌ای مربوط به روش بونیسون گروهی می‌باشد. ستون سوم جدول ۱۰ نشان‌دهنده مقادیر مطلوبیت نهایی هر گزینه است که در روش بونیسون محاسبه شده است. این مقادیر به‌صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای می‌باشند. در نتیجه برای مقایسه مقادیر گزینه‌ها و تعیین امتیاز نهایی آنها، این اعداد با استفاده از روش یاگر به اعداد کلاسیک تبدیل می‌شوند. ضریب همبستگی Spearman در این روش برابر با ۰/۹۵۱ بدست آمده است. مقایسه نتایج هر یک از روش‌ها با نتایج نرم‌افراز و محاسبه ضریب همبستگی آنها نشان می‌دهد که نتایج روش Fuzzy TOPSIS به نتایج نرم‌افزار نزدیک‌تر می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی بین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش بونیسون و روش Fuzzy TOPSIS دارای بیشترین ضریب همبستگی در بین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی بکار برده شده در این تحقیق، می‌باشند.

مقایسه دیگری بین روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره با یکدیگر انجام شد که نتایج آن در جدول ۱۱ آمده است. همچنین مقایسه بین امتیاز گزینه‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در جدول ۱۱ و شکل ۴، نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف با نرم‌افزار FDM نیز مقایسه شده است. در این حالت ورودی نرم‌افزار به‌صورت بیانی می‌باشد. در شکل ۴ محور افقی نشان‌دهنده گزینه‌ها و محور عمودی نشان‌دهنده امتیازهای بدست آمده برای هر گزینه در روش‌های مختلف می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه امتیازهای بدست آمده برای هر گزینه با استفاده از روش‌های مختلف

همانطور که ملاحظه می‌شود، جدول ۱۱ شامل سه بخش است که هر بخش شامل پروژه‌هایی است که اختلاف ناچیزی بین امتیازات آنها وجود دارد. به عبارت دیگر، برای تصمیم‌گیری در اجرای این پروژه‌ها بهتر است از معیارهای بیشتری برای اولویت‌بندی استفاده شود. ضریب همبستگی Spearman بین نتایج روش‌های مختلف بدست آمده است. همانطور که در جدول ۱۲ ملاحظه می‌شود، بیشترین ضریب همبستگی بین نتایج اولویت‌بندی روش Fuzzy TOPSIS گروهی و نتایج نرم‌افزار FDM وجود دارد. استفاده از نرم‌افزار FDM ، نسبت به روش‌های برنامه‌نویسی ساده‌تر می‌باشد و حذف یا اضافه کردن معیارها در آن به راحتی امکانپذیر است. یکی از معایب نرم‌افزار FDM، این است که برای تصمیم‌گیری گروهی قابل استفاده نمی‌باشد و باید اطلاعات ورودی هر یک از روش‌ها، بصورت انبوهش شده به نرم‌افزار داده شود. از بین روش‌های مورد استفاده در این مقاله، روش Fuzzy TOPSIS از نظر الگوریتم بسیار ساده‌تر از روش‌های دیگر می‌باشد. از طرفی، روش بونیسون گروهی نسبت به روش‌های دیگر دارای محاسبات بیشتری است. چون مطلوبیت نهایی بدست آمده در این روش به‌صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای بوده و برای مقایسه گزینه‌ها باید مطلوبیت بدست آمده از این روش، با استفاده از روش‌های تبدیل عدد فازی به عدد کلاسیک، به عدد کلاسیک تبدیل شود. به‌طور کلی، انتخاب روش مناسب برای اولویت‌بندی گزینه‌ها بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد و تصمیم‌گیرنده می‌تواند با توجه به شرایط و اطلاعات موجود هر یک از روش‌های فوق را انتخاب کند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸- مقایسه نتایج روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم با نتایج نرم‌افزار FDM

ردیف	Max & Min	مطلوبیت نهایی(U)	FDM	امتیاز
1	A2	0.591	A10	53.72
2	A3	0.540	A2	51.62
3	A10	0.519	A3	48.27
4	A6	0.461	A9	46.36
5	A4	0.427	A6	43.49
6	A7	0.411	A8	40.13
7	A9	0.398	A4	35.24
8	A8	0.396	A7	33.33
9	A1	0.339	A1	31.62
10	A5	0.300	A5	15.44

جدول ۹- مقایسه نتایج روش Fuzzy TOPSIS با نتایج نرم‌افزار FDM

ردیف	Fuzzy TOPSIS	ضریب نزدیکی(CC)	FDM	امتیاز
1	A2	0.357	A10	62.78
2	A10	0.342	A2	53.64
3	A6	0.292	A3	49.2
4	A3	0.278	A6	44.25
5	A8	0.265	A8	40.69
6	A4	0.257	A4	33.04
7	A9	0.253	A9	31.87
8	A7	0.233	A7	29.7
9	A1	0.22	A1	26.37
10	A5	0.182	A5	19.65

جدول ۱۰- مقایسه نتایج روش بونیسون گروهی با نتایج نرم‌افزار FDM

ردیف	روش بونیسون	مطلوبیت نهایی(U)	شاخص یاگر	FDM	امتیاز
1	A2	(3.82,4.15,1.65,1.39)	3.896	A10	60.86
2	A3	(3.37,3.67,1.54,1.43)	3.476	A2	54.5
3	A10	(2.95,3.32,1.46,1.33)	3.1	A3	49.96
4	A6	(2.54,2.78,1.35,1.63)	2.749	A6	45.61
5	A8	(2.17,2.47,1.01,1.47)	2.461	A8	41.4
6	A4	(2.02,2.28,1.15,1.51)	2.27	A4	34.15
7	A9	(1.92,2.18,1.02,1.47)	2.25	A9	31.29
8	A7	(1.92,2.10,1.13,1.65)	2.17	A7	29.09
9	A5	(1.35,1.56,0.73,1.50)	1.694	A1	27.48
10	A1	(1.21,1.55,0.73,1.55)	1.633	A5	17.19

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱- مقایسه نتایج روش‌های مختلف

ردیف	FDM	بونیسون گروهی	Max & Min	Fuzzy TOPSIS
1	A10	A2	A2	A2
2	A2	A3	A3	A10
3	A3	A10	A10	A6
4	A6	A6	A6	A3
5	A8	A8	A4	A8
6	A9	A4	A7	A4
7	A4	A9	A9	A9
8	A7	A7	A8	A7
9	A1	A5	A1	A1
10	A5	A1	A5	A5

جدول ۱۲- ضریب همبستگی Spearman بین روش‌های مختلف

روش‌ها	Fuzzy TOPSIS	مجموعه‌های Min & Max	Bonissone	FDM
Fuzzy TOPSIS	1	0.878788	0.951515	0.963636
مجموعه‌های Min & Max	-	1	0.90303	0.854545
Bonissone	-	-	1	0.939394
FDM	-	-		1

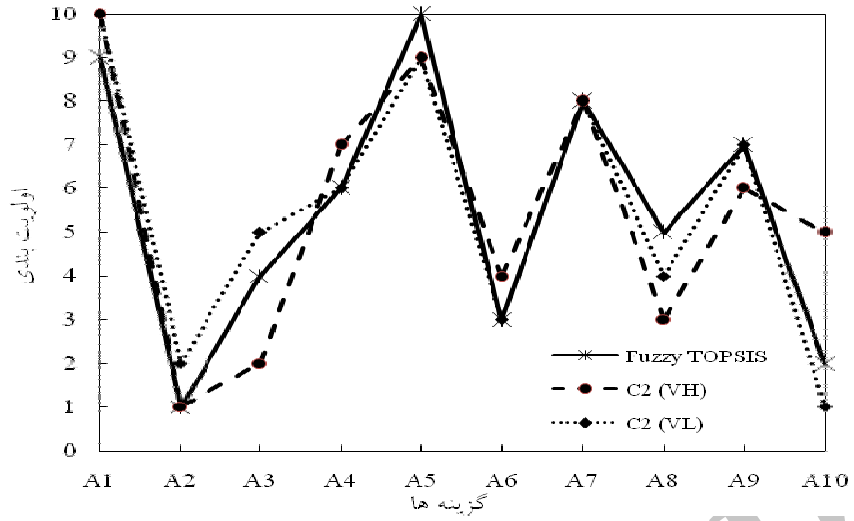
برای بررسی تأثیر وزن معیارها در اولویت‌بندی نهایی، تحلیل حساسیت بر روی وزن معیارها انجام شد. نتایج بدست آمده از تحلیل حساسیت بر روی وزن معیارها نشان می‌دهد که با توجه به نظرات کارشناسان، معیارهای اولویت نوع مصرف (C_7)، اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر(C_2) و ایجاد اختلاف بین ذینفعان(C_3)، نسبت به معیارهای دیگر، دارای اهمیت بیشتری می‌باشند. به‌عبارت دیگر، با تغییر وزن معیارهای اجتماعی و سیاسی، اولویت‌بندی و گزینش طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ، تغییر می‌کند. در نتیجه، انتخاب طرح‌ها فقط وابسته به معیارهای فنی نمی‌باشد، بلکه معیارهای اجتماعی و سیاسی نیز در انتخاب و گزینش طرح‌ها تأثیرگذار می‌باشند. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم فازی نسبت به روش Fuzzy TOPSIS، به تغییر وزن معیارها حساس‌تر می‌باشد. به‌عنوان مثال، شکل‌های ۵، ۶ و ۷ به‌ترتیب تغییرات اولویت‌بندی پروژه‌ها را در اثر تغییر وزن معیارهای اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر، ایجاداختلاف بین ذینفعان و اولویت نوع مصرف در محدوده وزنی بسیار زیاد (VH) و بسیار کم (VL) در روش Fuzzy TOPSIS نشان می‌دهند که نتایج آنها با نتایج روش Fuzzy TOPSIS در حالت کلی (بدون تغییر وزن معیارها) مقایسه شده است. در این شکل‌ها، محور افقی نشان‌دهنده گزینه‌ها و محور عمودی نشان‌دهنده اولویت هر یک از گزینه‌ها در شرایط افزایش وزن، کاهش وزن و یا عدم تغییر وزن معیار مربوطه می‌باشند.

همانطور که ملاحظه می‌شود، وقتی وزن معیار اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر به بسیار زیاد تغییر داده می‌شود، اولویت گزینه A_{10} (گوکان) به رتبه پنجم تغییر می‌کند. این بدان معناست که این گزینه نسبت به وزن معیار اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر حساس می‌باشد. همچنین زمانی‌که وزن معیار ایجاد اختلاف بین ذینفعان به بسیار زیاد تغییر می‌یابد، رتبه گزینهA_7 از رتبه هشتم به رتبه چهارم تغییر می‌کند. همینطور وقتی وزن معیار اولویت نوع مصرف به بسیار کم تغییر می‌یابد، اولویت گزینه A_8 از رتبه پنجم به رتبه نهم تغییر می‌کند.

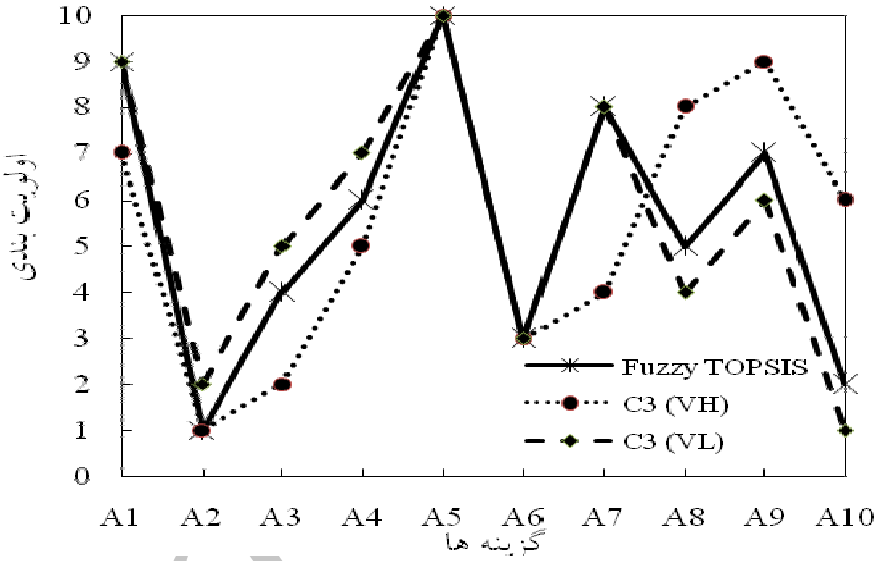
۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، اولویت‌بندی ۱۰ پروژه انتقال آب کارون بزرگ با در نظرگرفتن ۸ معیار که شامل معیارهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی می‌باشند، انجام شد. برای این کار از ۳ روش تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای گروهی فازی به نامهای روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم، روش Fuzzy TOPSIS و روش بونیسون استفاده شده است.

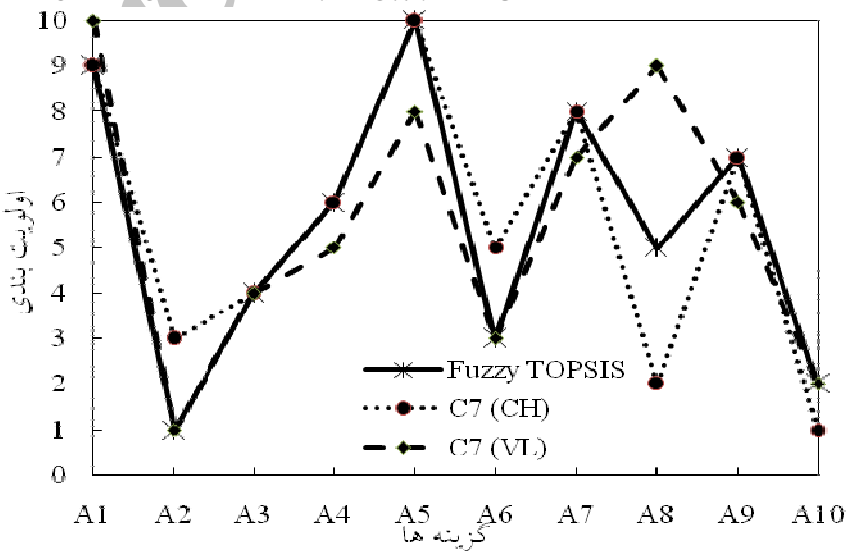
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵- تحلیل حساسیت نتایج با تغییر وزن معیار اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر



شکل ۶- تحلیل حساسیت نتایج با تغییر وزن معیار ایجاد اختلاف بین‌ذینغفعان



شکل ۷- تحلیل حساسیت نتایج با تغییر وزن معیار هفتم اولویت نوع مصرف

www.SID.ir

نتایج بدست آمده از این روش‌ها نشان می‌دهد که در تمام روش‌ها، گزینه ۲ یعنی تونل اول کوهرنگ در اولویت بالاتری نسبت به گزینه‌های دیگر قرار دارد. همچنین در این تحقیق از نرم افزار FDM نیز برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است. برای تعیین میزان همبستگی بین نتایج اولویت‌بندی بدست آمده از هریک از روش‌ها، ضریب همبستگی Spearman محاسبه شد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روش بونیسون و روش Fuzzy TOPSIS دارای بیشترین ضریب همبستگی در بین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی بکار برده شده در این تحقیق، می‌باشند. در نهایت، برای بررسی تأثیر وزن هر یک از معیارها اولویت‌بندی نهایی، تحلیل حساسیت بر روی وزن معیارها انجام شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که معیارهای اولویت نوع مصرف ، اثرات منفی بر پروژه‌های دیگر و ایجاد اختلاف بین ذینفعان، نسبت به معیارهای دیگر دارای اهمیت بیشتری می‌باشند و تغییر وزن این معیارها تأثیر بیشتری در اولویت‌بندی گزینه‌ها دارد.

پی‌نوشت‌ها

1 - Multiple Attribute Decision Making
2- Compromise Programming
3– Fuzzy Compromise Programming
4- Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making
5- Fuzzy Decision Making

۶- مراجع

رضوی، ل.، محمدولی سامانی، ج. و کوره‌پزان دزفولی، ا.؛ اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۲،صص ۹-۱، پائیز ۱۳۸۶.

Chen, T. C. (2000), Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*. 114(1), pp. 1-9.

Chen, S. J. and Hwang, C. L. (1992), *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: methods and applications*. Springer- Verlag.

Cohon, J. L. and Marks, D. H. (1975), A review evaluation of multiobjective programming techniques. *J. Water Resour Manag*. 11(2), pp. 208– 220.

Gibbons, J.D. (1971), *Nonparametric Statistical Inference*, McGraw-Hill, NewYork.

Karamouz, M., Mojahedi, S. A. And Ahmadi, A. (2010), Interbasin Water Transfer: Economic Water Quality-Based Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 136(2), pp. 90-98.

Li, D. F. (2007), Compromise ratio method for fuzzy multi-attribute group decision making, *Applied soft computing*. 7(3): 807-817.

Liu, H. and Kong, F. (2005), A new MADM algorithm based on fuzzy subjective and objective integrated weights. *International journal of information and system sciences*. 1(3-4), pp. 420-427.

Raj, A.P. & Kumar, N.D. (1998), Ranking multi-criterion river basin planning alternatives using fuzzy numbers. *Fuzzy sets and systems*. 100(1-3), pp. 89-99.

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(6), pp: 435-456.

Simonovic, S.P.& Prodanovic, P. (2002), Comparison of Fuzzy set ranking methods for implementation in water resources decision-making. *Canada Journal of Civil Engineering*. 29(5), pp. 692-701.

Srdjevic, B., Medeiros, Y.D.P. and Faria, A.S. (2004), An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios. *Water Resources Management*. 18(1), pp. 35-54.

Yaccob, A. A. (2007), Management of MELANA watershed using multicriteria decision making approaches. Master thesis. Faculty of Civil Engineering. University Technology Malaysia.

Zadeh, L. (1965), Fuzzy sets. *Inf. 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.

Zarghami, M., Abrishamchi, A. and Ardakanian, R. (2008), Multi-criteria Decision Making for Integrated Urban Water Management. *J. Water Resour Manage*. 22(8), pp. 1017– 1029.

Zarghami, M., Szidarovszky, F. and R. Ardakanian. (2009), Multi-attribute decision making on inter-basin water transfer projects. *J. Transaction E: Industrial Engineering.* 16(1), pp. 73- 80.

Zarghaami, M., Ardakanian, R., and Memariani, A. (2007), Fuzzy Multiple Attribute Decision Making on Water Resources Projects Case Study: Ranking Water Transfers to Zayanderud Basin in Iran. *J. Water International*. 32(2), pp. 280-293.

Zeshuni, X. (2007), An interaction procedure for linguistic multiple attribute decision making with incomplete weight information. *Journal of fuzzy optimization and decision making*. 6(1), pp. 17-27.

Archive of SID
www.SID.ir