



Evaluation of different Group Multi-Criteria Decision Making Methods in Selection of Water Transfer Projects to Urmia Lake Basin

M. Zarghami^{1*} and I. Ehsani²

Abstract

Currently uneven distribution of limited water resources in addition to growing urban and irrigation water demands have severely increased water shortages in Iran. Inter-basin water transfer projects are among important infrastructures used by water managers and planners to supply for the needed water. However due to the complex technical, socioeconomical, and environmental aspects of these projects, in every stage of the decision making process, group multi-criteria should be considered. In this article four proposed routes of water transfers from the Aras River to the Northeastern part of the Urmia Lake in Iran are evaluated. The effective criteria including environmental impacts, cost of construction, simplicity of the construction, and the social acceptance are weighted by three stakeholders. Using the ordered weighted averaging and fuzzy quantifiers the group weights are obtained. Then using the four multi-criteria decision making methods (simple weighted averaging, TOPSIS, compromise programming, and ordered weighted averaging methods), the different alternatives are ranked and finally the best and the most robust water transfer route is selected. Results showed that the simple additive weighting and ordered weighted averaging methods are more useful methods for group multi-criteria decision making on water resources development infrastructures.

Keywords: Inter-basin water transfer; TOPSIS, Compromise programming; Ordered weighted averaging methods; Projects ranking.

Received: April 7, 2009
Accepted: February 19, 2011

ارزیابی روشهای مختلف تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره در انتخاب طرحهای انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه

مهدی زرغامی^{۱*} و ایمان احسانی^۲

چکیده

توزیع نامتوازن منابع آب نسبت به گسترش جمعیت و توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، بحران آب را تشدید کرده، لذا یکی از زیرساخت‌هایی که اجرای آن مورد توجه جدی است طرحهای انتقال بین‌حوضه‌ای آب می‌باشد. پیچیدگی تصمیم‌گیری روی این طرحها که ناشی از تبعات فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی آنها می‌باشد، گزینه‌های مختلفی را پیش روی مدیران و ذینفعان قرار می‌دهد. در این مقاله چهار مسیر پیشنهادی برای ساخت سامانه انتقال آب از رودخانه ارس به مناطق شرق و شمال شرقی دریاچه ارومیه، از دید چهار سری از معیارها ارزیابی شده‌اند. ابتدا معیارهای موثر در ارزیابی شامل لحاظ اثرات زیست محیطی، هزینه اجرای طرح، سهولت اجرا و پذیرش اجتماعی آن توسعه داده شده، توسط سه تصمیم‌گیر ذینفع به طور جداگانه وزن‌دهی می‌شوند و سپس با استفاده از عملگر میانگین وزنی مرتب و کمیت‌سنج‌های فازی، وزن گروهی آنها بدست می‌آید. در ادامه با بکارگیری چهار روش مهم (میانگین وزنی ساده، برنامه‌ریزی سازشی، TOPSIS و عملگر میانگین وزنی مرتب) گزینه‌های مختلف اولویت‌بندی شده و در نهایت گزینه‌ی مناسب بدست می‌آید. نتایج نشان می‌دهند که روشهای میانگین وزنی ساده و عملگر میانگین وزنی مرتب برای تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره‌ی زیرساخت‌های توسعه منابع آب کارایی موثرتری دارد.

کلمات کلیدی: انتقال بین‌حوضه‌ای آب، تحلیل چندمعیاره گروهی، TOPSIS، برنامه‌ریزی سازشی، عملگر میانگین وزنی مرتب، اولویت‌بندی طرحها.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۸ فروردین ۱۳۸۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۳۰ بهمن ۱۳۸۹

1- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran Email: zarghami@gmail.com
2- MSc. Graduate, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*- Corresponding Author

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- کارشناس ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
*- نویسنده مسئول

مولفه‌های مورفولوژیک، هیدرولوژیک، کیفیت آب و مسایل فنی به طور همزمان در ارتباط با عوامل سیاسی، اجرایی، اقتصادی، زیست محیطی، فرهنگی و حقوقی می‌باشند. در ایران پژوهش‌های متعددی بر این نکته صحنه گذاشته‌اند (از جمله مطالعات ضرغامی و ابریشم‌چی، ۱۳۸۳ و کارآموز و همکاران، ۱۳۸۶). لذا ناگزیر باید با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری، این اثرات را به طور پیوسته و سیستماتیک مورد بررسی قرار داد. در سند راهبردهای توسعه دراز مدت منابع آب کشور نیز بر انجام طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای از دیدگاه توسعه پایدار و با رعایت حقوق ذینفعان، مشروط به توجهات فنی، اقتصادی، اجتماعی و منافع ملی تاکید شده است (هیات دولت، ۱۳۸۲).

هدف این مقاله توسعه کاربرد تحلیل چندمعیاره به عنوان ابزاری مناسب در مدیریت زیرساخت‌های انتقال بین حوضه‌ای آب می‌باشد. کاربرد روش‌های تحلیل چندمعیاره در مدیریت منابع آب رواج بسیاری یافته که در ادامه به پاره‌ای از آنها اشاره می‌شود:

Chang et al. (1997) با لحاظ کردن اهداف متمایز اقتصادی و اجتماعی، روش‌های تحلیل چندمعیاره را در مدیریت کاربری زمین برای حوضه سد مخزنی تونگون در تایوان به کار گرفتند. Agrell et al. (1998) با به کارگیری معیارهای مربوط به کاربری‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی، از تحلیل چندمعیاره برای تعیین برنامه رهاسازی آب مخزن شل‌موس در کانادا استفاده نمودند.

Al-Rashedan et al. (1999) از تحلیل چندمعیاره برای اولویت‌بندی پروژه‌های بهبود کیفیت محیط زیست در رودخانه اردن در خاورمیانه استفاده کردند. (Joubert et al. (2003) از روش‌های تحلیل چندمعیاره برای مدیریت سیاست‌های عرضه و تقاضای آب در آفریقای جنوبی استفاده کردند. (Lee and Chang (2005) دیدگاه را برای ارائه یک طرح مدیریتی با هدف سنجش کیفیت آب درحوضه رودخانه توچن در شمال تایوان به کار بردند. (Ghanbarpour et al. (2005) با استفاده از تصمیم‌گیری گروهی، استراتژی‌های مدیریت حوضه آبریز کن واقع در شمال غربی تهران را ارزیابی و اولویت‌بندی کردند و نشان دادند که طرح‌های توسعه منابع آب دغدغه اصلی بخش کشاورزی و مرتع است. (Hajkovicz and Collins (2007) نیز روش‌های مهم تحلیل چندمعیاره در صنعت آب را به طور جامع مرور کرده‌اند. (Zarghami et al. (2008) عملگر میانگین وزنی مرتب توسعه یافته را برای اولویت‌بندی ۱۳ پروژه منابع آب در حوضه آبریز سفیدرود در

طرح‌های انتقال آب یکی از بزرگترین دخالت‌های انسان در طبیعت و فرایندهای زیست‌محیطی مربوط به آن هستند. این طرح‌ها در واقع از یک‌سو پاسخی به مساله ناهماهنگی میان توزیع جمعیت انسانی و فعالیت‌های مربوط به آن و از سوی دیگر توزیع مکانی آب می‌باشند. طرح‌های انتقال آب بسیاری در جهان به بهره‌برداری رسیده‌اند و یا در حال ساخت هستند. انتقال آب در مقیاس بزرگ از نیمه دوم قرن بیستم آغاز شد. حجم آب انتقال یافته در سال ۲۰۰۰ میلادی در حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب در سال بود که پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۲۰ به هزار میلیارد مترمکعب در سال برسد. حجم آب انتقال یافته (W) و طول مسیر انتقال (L) مهمترین مشخصه‌هایی هستند که در میزان هزینه و اثرات زیست‌محیطی طرح اثر گذارند. لذا (Shiklomanov (1999 شاخص $L \times W$ را برای مقایسه اندازه این طرح‌ها معرفی نمود.

(Ghassemi and White (2007 خصوصیات طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای مهم در استرالیا، آمریکا، کانادا، چین و هند را به طور سیستماتیک مرور کرده‌اند. در ایران نیز اکثر طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مهم برای انتقال آب به حوضه مرکزی می‌باشند. دلیل این امر آن است که سرانه آب هر ایرانی در این حوضه نسبت به پنج حوضه اصلی دیگر حداقل می‌باشد (ضرغامی و همکاران، ۱۳۸۶).

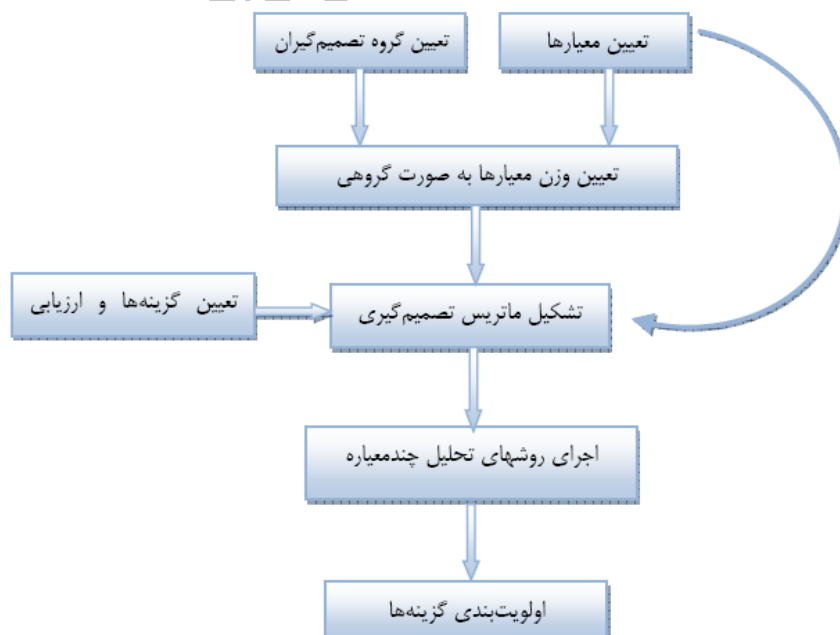
با استفاده از انتقال آب، می‌توان مسائل مربوط به توسعه‌نیافتگی ناشی از کمبود آب را در حوضه‌ی مقصد برطرف نمود. ولی این امر ممکن است که باعث کندی روند توسعه در حوضه‌ی مبدأ و تخریب محیط زیست شود. بنابراین توجه‌پذیری این طرح‌ها باید بر مبنای دو مفهوم اساسی توسعه پایدار و عدالت اجتماعی مورد ارزیابی قرار گیرد. (Cox (1999 چهار گروه از معیارها را برای ارزیابی این طرح‌ها ارائه کرد که عبارتند از: آثار اقتصادی، آثار زیست‌محیطی، اثرات اجتماعی- فرهنگی و توزیع عادلانه سود حاصل از طرح. لذا طرح‌های انتقال آب باید در مواردی اجرا شوند که بحران ناشی از کمبود آب در حوضه مقصد شدید است، امکان تامین آب از منابع درون حوضه‌ای وجود ندارد و همه اقدامات ممکن برای کاهش تقاضای آب انجام شده است. در این صورت این طرح‌ها منافع زیادی می‌تواند داشته باشد که یکی از آنها وحدت ملی بیشتر است. لذا قبل از هرگونه تصمیم‌گیری در مورد این طرح‌ها باید مواردی از قبیل هزینه- فایده طرح، عوامل زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی بلندمدت و مذاکرات دشوار بین ذینفع‌های مختلف را لحاظ کرد. انحراف آب از یک حوضه آبریز به حوضه دیگر مساله‌ای چندبعدی است که در آن

۲- روش تحقیق

با توجه به اینکه یکی از مهمترین جنبه‌های برنامه‌ریزی طرح‌های توسعه منابع آب، مدیریت بهم پیوسته آنها است، لذا برای لحاظ معیارهای مختلف و انجام تصمیم‌گیری مناسب، تحلیل چندمعیاره ضروری است. در تحلیل چندمعیاره یک ماتریس ارزیابی X موجود است که دارای m گزینه و n معیار می‌باشد. امتیاز گزینه‌ی نام از دید معیار z_{ij} را با x_{ij} نمایش می‌دهند. اهمیت هر معیار نیز بوسیله بردار یک‌بعدی وزن‌ها W که شامل n وزن است نشان داده می‌شود. لذا الگوریتم‌های تحلیل چندمعیاره به صورت تابع $S_i = F(X, W)$ تعریف می‌شوند که در آن امتیاز کلی گزینه‌ی نام را بیان می‌کند. فرایند تحلیل چندمعیاره در حالت گروهی دارای ۲ یا چند تصمیم‌گیر می‌باشد که هر یک، اولویت‌ها و نگرش‌های متفاوتی به مساله تصمیم‌گیری دارند. در این حالت، هدف از تصمیم‌گیری گروهی رسیدن به گزینه برتر از میان مجموعه‌ای از گزینه‌هاست به گونه‌ای که بیشترین توافق میان تصمیم‌گیران و ذینفع‌ها برقرار شود. در این تحقیق ابتدا بایستی معیارها طراحی شده و توسط گروهی از تصمیم‌گیران مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس ارزش و اهمیت معیارها به کمک روش میانگین وزنی مرتب^۱ بدست می‌آید. سپس گزینه‌های مختلف از دید معیارها ارزیابی شده و به کمک اجرای چهار روش مختلف تحلیل چندمعیاره، گزینه برتر مشخص می‌شود. لذا فرایند تحلیل چندمعیاره برای مدل‌سازی تصمیم‌گیری گروهی در این مقاله به صورت شکل ۱ می‌باشد.

ایران به کار بردند. رضوی طوسی و همکاران (۱۳۸۶) نیز به کمک این روشها و لحاظ تئوری فازی، طرح‌های انتقال آب از حوضه کارون را مقایسه کرده‌اند. میان‌آبادی و افشار (۱۳۸۶) نیز از سه روش مختلف تحلیل چندمعیاره برای انجام تصمیم‌گیری چندشاخصه، در رتبه‌بندی طرح‌های تامین آب شهر زاهدان استفاده نمودند. روشهای مختلف تحلیل چند معیاره هر کدام برای یک نوع مطالعه مفید و موثر بوده و برای مطالعه موردی جدید بایستی روش موثر تحلیل به دقت انتخاب شود.

در این مقاله مطالعه موردی مطرح شده توسط (Zarghami 2011) توسعه داده شده و بجای یک روش، چهار روش مهم به کمک ضریب همبستگی اسپیرمن مورد بررسی قرار گیرد. لذا هدف این تحقیق بررسی توسعه کاربرد چهار مدل ریاضی تصمیم‌گیری است که به کمک یک مطالعه موردی توانایی آنها بررسی خواهد شد. مطالعه موردی مذکور، انتخاب مسیر برتر برای انتقال آب از رودخانه ارس به مناطق شرق و شمال‌شرقی دریاچه ارومیه (از میان چهار گزینه) است. هر یک از این گزینه‌ها از نظر معیارهای در نظر گرفته شده، آثار متفاوتی دارند که در یک ارزیابی جامع باید لحاظ شوند. لذا پس از بررسی و مطالعه، چهار معیار موثر در تصمیم‌گیری ساخته شده، سپس سه تصمیم‌گیر اصلی به آنها وزن داده و نظر گروهی آنها پس از کنترل درجه اجماع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تجمیع نظرات افراد گروه، ریسک تصمیم‌گیری نیز در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱- فرایند تصمیم‌گیری گروهی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در این مطالعه

۲-۲- روش Topsis^۳

در این روش گزینه انتخابی باید کوتاهترین فاصله از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله از جواب غیر ایده‌آل را داشته باشد. مقدار فاصله هر گزینه تا جواب‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل که به ترتیب زیر نشان داده می‌شوند:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \text{ for } i=1,2,\dots,m \quad (3)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \text{ for } i=1,2,\dots,m \quad (4)$$

که در آن مقدار نرمال موزون عملکرد گزینه i ام از دید معیار i ام است. v_j^* و v_j^- به ترتیب مقدارهای آرمانی و نامطلوب برای معیار i ام هستند. رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبه نزدیکی نسبی C_i^* هر گزینه به جواب ایده‌آل بدست می‌آید:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad i=1,2,\dots,m \quad (5)$$

۳-۲- روش برنامه‌ریزی سازشی^۴

در این روش اولویت‌بندی و امتیازدهی به گزینه‌ها، بر اساس فاصله‌ی آنها از نقطه‌ی نامطلوب انجام می‌گیرد. مطلوبیت هر گزینه با L_i نشان داده می‌شود که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_i = \left[\sum_{j=1}^m w_j^p \left(\frac{x_{ij} - f_j^w}{f_j^* - f_j^w} \right)^p \right]^{1/p} \quad (6)$$

f_j^* مقدار مطلوب برای معیار j در بین تمام مقادیر ممکن برای گزینه‌ها و f_j^w مقدار نامطلوب برای معیار j در بین تمام مقادیر ممکن برای گزینه‌ها می‌باشد که قبلاً در معادله (۱) معرفی شدند. p عاملی است که حساسیت تصمیم‌گیر به فاصله از نقطه آرمانی راه، از دید هر یک از معیارها، بیان می‌دارد. با $p=1$ همه فاصله‌ها به‌اندازه وزن خود در نظر گرفته می‌شود و بر اساس $p=2$ ، فاصله بزرگتر اثر بزرگتر دارد. برای $p=\infty$ بزرگترین اختلاف مدنظر بوده و تنها این اختلاف کمینه می‌شود.

۴-۲- روش میانگین وزنی مرتب

این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن b_{ij} ضامین مقدار بزرگ در مجموعه داده‌های ورودی $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ می‌باشد. در واقع مجموعه b مقادیر نزولی مرتب شده بردار x است.

$$F_i(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) = \sum_{j=1}^n u_j b_{ij} = u_1 b_{i1} + u_2 b_{i2} + \dots + u_n b_{in} \quad (7)$$

قبل از استفاده از روشهای تحلیل چندمعیاره گروهی، داده‌های ورودی بایستی پالایش اولیه شوند. دو گام مهم در این جهت عبارتند از:

الف) تبدیل ورودیهای بیانی به عددی: بسیاری از تصمیم‌گیران در ارزیابی گزینه‌ها و معیارها ترجیح می‌دهند که نظرات خود را با عبارات بیانی ارایه نمایند. ولی برای انجام محاسبات، نیازمند معادل‌سازی آنها هستیم. به همین جهت در این مطالعه از مقیاس خطی که توسط مولفین متعددی از جمله (Abrishamchi et al. 2005) بکار بسته شده استفاده می‌گردد. بنابراین مجموعه اعداد (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷) معادل مجموعه زبانی (خیلی زیاد، زیاد، نسبتاً زیاد، متوسط، نسبتاً کم، کم، خیلی کم) می‌باشند.

ب) نرمال‌سازی داده‌ها: مقادیر ارزیابی معیارهای مختلف، ابعاد متفاوتی خواهند داشت. برای تجمیع این داده‌ها نیاز به نرمال‌سازی می‌باشد. البته روش نرمال‌سازی تاثیر بسیار زیادی روی نتایج استفاده از روشهای تحلیل چندمعیاره دارند لذا این روش بایستی یکسان باشد. در این مطالعه از روش زیر استفاده می‌شود (Cables Perez et al. 2008):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - f_j^w}{f_j^* - f_j^w} \quad (8)$$

r_{ij} مقدار نرمال شده x_{ij} مقدار ارزیابی‌ها است. f_j^* مقدار مطلوب برای معیار j در بین تمام مقادیر ممکن در بین گزینه‌ها و f_j^w مقدار نامطلوب برای معیار j در بین تمام مقادیر ممکن در بین گزینه‌ها می‌باشد. مقدار مطلوب در معیارهای مثبت حداکثر مقدار در بین تمام گزینه‌ها و نیز در معیارهای منفی کمترین مقدار آن معیار در بین تمام گزینه‌ها می‌باشد. برای تعیین مقدار نامطلوب برعکس عبارت فوق عمل می‌گردد. در ادامه این بخش چند روش مهم تحلیل چندمعیاره معرفی می‌گردند.

۱-۲- روش میانگین وزنی ساده^۲

در این روش انتخاب گزینه برتر بر اساس مقدار k_i می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن w_j وزن معیار j ام و r_{ij} امتیاز نرمال شده گزینه‌ی i ام از دید معیار j ام می‌باشد که قبلاً توسط معادله (۱) محاسبه می‌شود.

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (9)$$

می‌باشد در یک دوره آماری ۱۰ ساله اخیر، بیش از ۵ متر کاسته شده است (شکل ۳).

در نتیجه با مشاهده این آمار، اهمیت طرح‌های مطرح انتقال آب (از حوضه ارس، حوضه زاب و حوضه قزل‌اوزن) جهت تعدیل کمبود آب سطحی و زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه آشکار می‌شود. در این مطالعه تنها انتقال آب از رود ارس مطرح می‌باشد که اجرای آن با احتساب نفوذ حاصل از آب برگشتی سطحی به آبخوان دشتهای، استمرار تغذیه سالانه حاصل از آن و نیز کاهش فشار بهره برداری از آب زیرزمینی، موجب تعادل سفره‌های زیرزمینی و جبران افت آنها در بلندمدت خواهد شد. لذا اهداف این طرح به طور خلاصه عبارتند از: تامین کسری آب شرب شهرها و روستاهای محدوده طرح، تامین کسری آب مراکز صنعتی محدوده مورد مطالعه، تامین کسری آب شرب تبریز در افق ۱۴۱۵ به میزان ۲ متر مکعب بر ثانیه، تامین بخشی از کسری آب مورد نیاز کشاورزی محدوده طرح، تامین کسری سالانه مخازن آب زیرزمینی محدوده طرح، تامین کسری آب درازمدت کل مخازن زیرزمینی به نحوی که ۲۰ سال بعد از بهره‌برداری طرح، تراز سفره‌های آب زیرزمینی به تراز نظیر سال ۱۳۶۵ بازگردد. البته در اجرای این طرح، معیارهای موثر در چهار گروه زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی و اجتماعی طبقه‌بندی شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که در بخش ۴ به آنها اشاره خواهد شد.

۳-۲- موقعیت طرح

محدوده مطالعاتی طرح در وسعتی معادل ۹۶۶۹ کیلومترمربع (۶۶۸۹۲ هکتار)، بین طولهای شرقی ۰۵' - ۴۵° تا ۱۸' - ۴۶° و عرض‌های شمالی ۳۴' - ۳۷° تا ۰۰' - ۳۹° در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. حدود منطقه از شمال به رودخانه ارس، از غرب به استان آذربایجان غربی و دریاچه ارومیه، از جنوب به مرز شهرستان عجب‌شیر و از شرق به مرز شهرستان‌های تبریز، ورزقان و بخش سیه‌رود از شهرستان جلفا محدود می‌گردد. رودخانه‌ی ارس مهمترین منبع دائمی آب سطحی در محدوده مطالعاتی طرح می‌باشد. این رودخانه از ارتفاعات ۳۶۵۰ متری مین‌گلی در خاک ترکیه سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از خاک جمهوری ارمنستان در منتهی‌الیه شمال غربی ایران وارد خاک ایران شده و مرز مشترک ایران و جمهوری آذربایجان و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. طول رودخانه از سرچشمه تا اتصال به رودخانه‌ی کور در جمهوری آذربایجان ۱۰۷۲ کیلومتر و در مرز ایران ۵۶۸ کیلومتر می‌باشد (مهندسین مشاور لار، ۱۳۸۵). دبی متوسط رود ارس در خروجی سد ارس واقع در نزدیکی شهر جلفا برابر ۴۳۱۳ میلیون مترمکعب در

وزن رتبه‌ها، u با وزن نسبی هر معیار تفاوت داشته و تنها ناظر بر رتبه هر ورودی است به طوری که $u_j \geq 0$ و $\sum_{j=1}^n u_j = 1$.

خصوصیت مهم وزن رتبه‌ها در این عملگر، انعکاس درجه خوش‌بینی تصمیم‌گیر است. برای این منظور هرچه بردار وزن رتبه‌ها، عددهای بزرگتری را در ابتدای خود داشته باشد، تصمیم‌گیر میزان خوش‌بینی بیشتری دارد. روشهای مختلفی برای بدست آوردن بردار وزن رتبه‌ها وجود دارد (Xu, 2005) که در این مقاله از روش کمیت‌سنج‌های فازی استفاده می‌شود. برای انتخاب کمیت‌سنج مناسب بایستی از مدیر جلسه تصمیم‌گیری سوال شود که چه تعداد معیار را می‌خواهد در تصمیم‌گیری در نظر بگیرد. سپس از رابطه‌ی توسعه یافته زیر، بردار وزن رتبه u متناظر با هر درجه خوش‌بینی را بدست می‌آوریم (Yager, 1988):

$$u_j = Q\left(\frac{j}{n}\right) - Q\left(\frac{j-1}{n}\right), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

در این مطالعه، کمیت سنج نوع $Q(r) = r^\alpha$ را به کار می‌بریم که وقتی n به سمت بی نهایت میل می‌کند می‌توان نشان داد که $\theta = 1/(1+\alpha)$. مقدار α به ازای درجات خوش‌بینی مختلف که هر کدام متناظر با یک کمیت‌سنج کیفی است از جدول ۱ بدست می‌آید.

دو روش مطرح دیگر به نام‌های AHP^۵ و ELECTRE^۶ به جهت نیاز به مقایسات زوجی در این مطالعه مطرح نشدند. بر حسب تجربه مولفین، مدیران صنعت آب کشور اغلب تمایلی به مراحل خسته کننده و طولانی ارایه اطلاعات (به خصوص در ماتریس مقایسات زوجی) ندارند.

۳-۲- مطالعه موردی: انتقال آب از رودخانه ارس به مناطق شرق و شمال شرقی دریاچه‌ی ارومیه

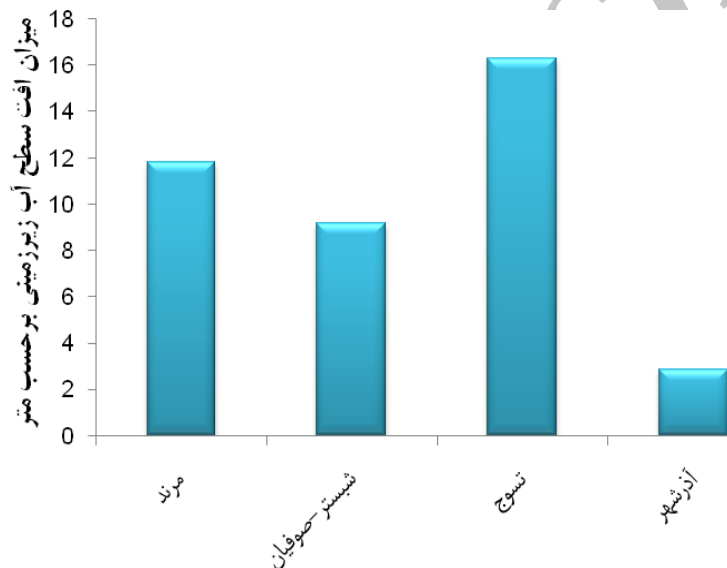
۳-۱- اهداف طرح

حوضه دریاچه ارومیه در سالهای اخیر با تنش آبی زیادی مواجه بوده است. به گونه‌ای که برداشت بی‌رویه از آبهای سطحی و زیرزمینی، همراه با تغییر اقلیم (خشکسالی) موجب کاهش شدید تراز آب زیرزمینی در دشتهای این ناحیه شده است. شکل ۲ میزان افت سطح آب در بعضی از شهرهای واقع در محدوده طرح را در دوره‌های آماری مختلف بر حسب متر نشان می‌دهد. مطابق این شکل، تراز آب زیرزمینی در دشت تسوج در یک دوره آماری ۱۵ ساله از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۸۵ به میزان ۱۶/۲۹ متر کاهش پیدا کرده است. از سوی دیگر تراز آب سطح دریاچه ارومیه به عنوان یک محیط استراتژیک که دارای ارزشهای فراوان زیست محیطی و اکولوژیکی

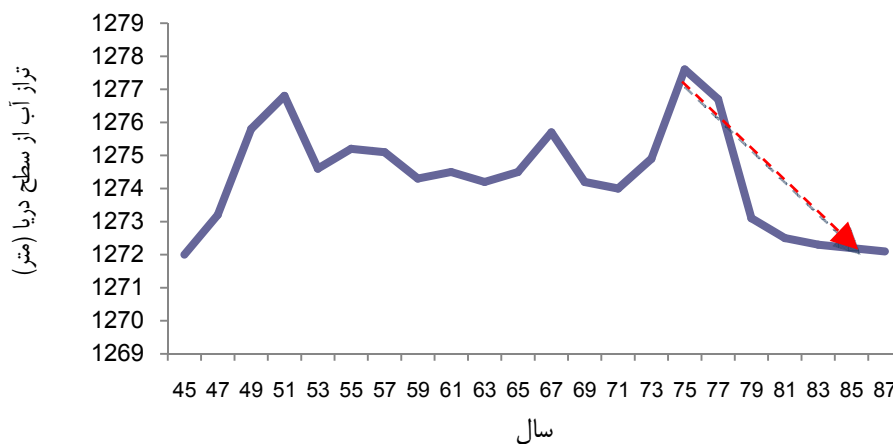
سال بوده که منبع آب قابل توجهی می‌باشد (مهندسين مشاور فرازآب، ۱۳۸۷). سهم ایران از منابع آب رود مرزی ارس در حدود ۴۰ درصد برآورد شده است (TDA, 2006). در این طرح پس از بررسی شرایط توپوگرافی منطقه و محدودیت‌های فنی مختلف، چهار مسیر برای اجرای خط انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه در نظر گرفته شده است (Zarghami, 2011).

جدول ۱- میزان خوش‌بینی متناظر با هر کمیت سنج کیفی

کمیت سنج	نوع نگرش	درجه‌ی خوش‌بینی، θ	α
همه معیارها		۰/۰۰۱	$\infty \alpha \rightarrow$
خیلی بیشتر معیارها	بدبینانه	۰/۰۹۱	۱۰/۰
بیشتر معیارها		۰/۳۳۳	۲/۰
نصف معیارها	خنثی	۰/۵۰۰	۱/۰
بعضی از معیارها		۰/۶۶۷	۰/۵
کمی از معیارها	خوش‌بینانه	۰/۹۰۹	۰/۱
حداقل یکی		۰/۹۹۹	$\alpha \rightarrow$ صفر



شکل ۲- افت تراز آب زیرزمینی در بعضی از شهرهای محدوده طرح (در سالهای ۸۵-۱۳۶۰)



شکل ۳- تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه در دوره آماری ۴۲ ساله (۱۳۴۵-۱۳۸۷)

محیطی نیاز است. این مساله در حالیست که طرحهای توسعه منابع آب، آثار مثبت و منفی بسیاری بر محیط پیرامون خود دارند که ارزیابی آنها را حتی مشکل تر از مسائل فنی می سازد. از یک سو افزایش در تولید محصولات کشاورزی، تامین آب آشامیدنی و صنعتی، جبران افت شدید سطح آب زیرزمینی از جمله فواید این پروژهها هستند. از سوی دیگر، قطع درختان، اختلال در محیط زیست نزدیک پروژههای بزرگ مانند خطوط لوله و ساختگاه سدها در پاره‌ای موارد ایجاد تاثیرات مهم ثانویه مانند آسبیری^۷ و شوری خاک در مناطق آبیاری شده از جمله آثار منفی این طرحها هستند. بنابراین مدیریت صحیح این زیرساختها اهمیت فراوانی دارد.

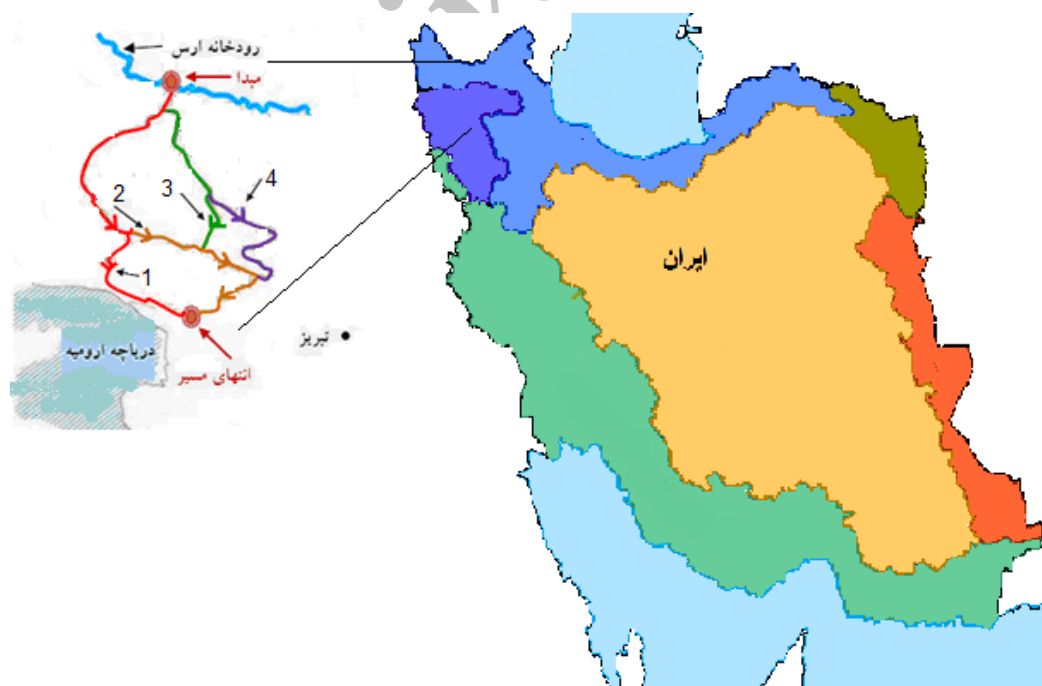
در جدول ۲ ارزیابی چهار مسیر پیشنهادی بر اساس پنج زیرمعیار آورده شده است: هر یک از زیرمعیارهای زمین شناسی، کاربری اراضی کشاورزی، پناهگاه حیات وحش کیامکی، وجود آثار باستانی و میراث فرهنگی در پیرامون طرح و نیز سیمای سرزمین که در این جدول ذکر شده است به ترتیب بیانگر احتمال وقوع لغزش و جابجایی زمین در اثر نزدیکی به گسلها، تخریب اراضی کشاورزی، ایجاد ناامنی در پناهگاه در طول عملیات ساختمانی، تداخل با تپه‌های باستانی چیلک و خانم‌گلی و نیز تغییر سیمای سرزمین به عنوان آثار زیست محیطی موثر در طرح مورد مطالعه هستند.

هر یک از این گزینه‌ها از نظر فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارای مزایا و معایب مختلفی هستند که در این مقاله با یکدیگر مقایسه می‌شوند. شکل ۴ موقعیت طرح و مسیرهای انتقال را نشان می‌دهد. حجم انتقال در همه این گزینه‌ها ثابت بوده و برابر ۳۱۵ میلیون متر مکعب در سال (۱۰ متر مکعب در ثانیه) است. البته تقاضای آب در افق طرح برای سال ۱۴۰۵ برابر ۷۵۷ میلیون مترمکعب در سال (برابر ۲۴ مترمکعب در ثانیه) محاسبه شده است (مهندسین مشاور لار، ۱۳۸۶).

۴- معیارهای مطرح برای تصمیم‌گیری گروهی

۴-۱- معیار زیست‌محیطی

از سال ۱۹۹۰ به بعد با افزایش علاقه‌مندی عمومی به موضوعات محیط زیست، ارزیابی تاثیرات زیست محیطی تبدیل به یک بخش اساسی در مطالعات و ارزیابی طرحهای عمرانی شده است. این ارزیابی تعیین اثرات زیست محیطی یک عمل پیشنهادی (مثلا یک طرح عمرانی) پیش از بهره‌برداری است تا نتایج نامطلوب و ناخواسته آن کاهش یابد و یا حذف شود. این فرایند همه ابعاد مساله را در یک قالب واحد بررسی کرده و رسیدن به یک تصمیم مناسب و اصولی را ممکن می‌سازد. برای توسعه مناسب منابع آب و خاک بدون برهم‌زدن تعادل اکولوژیکی، یک برنامه‌ریزی صحیح زیست



شکل ۴- حوضه‌های آبریز اصلی ایران و مسیرهای انتقال آب از حوضه رود ارس به شرق و شمال شرق حوضه دریاچه ارومیه

و کابل‌کشی) هزینه‌ی احداث تونل و هزینه احداث شیرخانه می‌باشد. البته سایر هزینه‌های غیرملموس مانند آثار بیرونی طرح لحاظ نشده است. برآورد تقریبی مجموع این هزینه‌ها با توجه به طول مسیر و سایر پارامترها برای مسیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۲۱۰۶، ۱۸۹۵، ۱۶۱۴ و ۱۶۸۴ میلیارد ریال می‌باشد.

۴-۳- معیار فنی

مهمترین معیار فنی، سهولت اجرای طرح می‌باشد. هر کدام از مسیرهای پیشنهادی دارای ویژگی‌های اجرایی خاصی می‌باشند که به صورت زیر است: در مسیر ۱ سازندهای تشکیل دهنده بخشی از مسیر موجود در ارتفاعات، به طور عمده سازندهای مارنی و گچی سبز و قرمز نئوزن می‌باشد که دامنه‌هایی با شیب بسیار تند دارند. وجود توده‌های ضخیم مارن و مارن گچی، اقلیم نیمه‌مرطوب، مورفولوژی ناهموار و شیب‌های تند به طور طبیعی زمینه‌ساز ناپایداری دامنه‌ها شده و در نقاط مختلف، حرکت‌های توده‌ای کوچک و بزرگ و جابجایی حجم عظیمی از سازند مارنی صورت گرفته است. در مسیر ۲ بخش عمده مسیر از دشت‌های محدوده‌ی طرح که دارای پروفیل طولی ملایمی می‌باشند، می‌گذرد و لذا مشکل زمین‌شناسی خاصی ندارد. از آنجا که بیشتر این مسیر در امتداد خط انتقال گاز می‌باشد، می‌توان از جاده دسترسی گاز به عنوان جاده سرویس برای احداث خط لوله آب استفاده کرد. در مسیرهای ۳ و ۴ نیز تغییرات ارتفاعی در پروفیل طولی مسیر، ملایم و قابل قبول است و مشکل فنی خاصی ندارند.

۴-۴- معیار اجتماعی

یکی از عوامل مهم در فرایند امکان‌سنجی طرح‌های عمرانی پذیرش آن از سوی ذینفع‌هایی است که کیفیت زندگی آنها تحت تاثیر اجرای آن طرح‌ها قرار می‌گیرد.

معیارهای خنثی که اثرات آنها طبق برآوردهای انجام شده برای هر سه مسیر یکسان بودند و در نتیجه از مدل حذف شدند عبارتند از: آلودگی‌های هوا، آب، خاک و صدا، بهبود فعالیت‌های کشاورزی، افزایش کیفیت بهداشت با تامین آب شرب سالم، تاثیر بر آبیان رودخانه‌ی ارس، تخریب زیستگاه مراکان و تداخل با مسیر مهاجرت حیات وحش (مهندسین مشاور لار، ۱۳۸۵). وزن معیارها در آبان ماه ۱۳۸۷ توسط مسئول فنی طرح اعلام شده که به صورت کیفی در جدول ۲ آمده است.

برای محاسبه برآیند کمی اثرات منفی زیست محیطی طرح از روش میانگین وزنی ساده بر اساس معادله (۲) استفاده شده و برای کمی‌سازی وزن معیارها، مقیاس عددی که قبلاً ذکر گردید به کار برده شده است. نتایج نهایی برای امتیاز هر مسیر از دید معیار زیست‌محیطی در سطر آخر جدول ۲ آورده شده است.

۴-۲- معیار اقتصادی

به طور کلی طرح‌های انتقال آب در مقیاس کلان دارای اهداف اقتصادی مختلفی هستند که ۴ مورد عمده آن عبارتند از: افزایش کارآمدی اقتصادی، برابری بیشتر در توزیع درآمدها، توسعه اقتصادی در مقیاس ملی و محلی و پایداری فعالیت‌های اقتصادی. این معیارها باید در زمان تصویب طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌ای آب و بررسی سایر گزینه‌های تامین آب در استراتژی‌های کلان تصمیم‌گیران لحاظ شود. اما در مقیاس خرد و با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد احداث سامانه‌های انتقال آب، یکی از مهمترین معیارهای موثر در انتخاب بهترین مسیر، کمتر بودن هزینه‌های اجرایی آن می‌باشد. به طور کلی این هزینه‌ها مربوط به خرید لوله‌های فولادی، ایستگاه پمپاژ (شامل خرید پمپ‌ها، احداث مخازن مکشی پمپ‌ها، احداث ساختمان‌ها، خرید و نصب لوله‌ها و شیرآلات در تلمبه‌خانه و محوطه آنها به همراه سیستم مقابله با ضربه‌ی آبی و نیز تاسیسات الکتریکی

جدول ۲- محاسبه برآیند کمی اثرات منفی زیست محیطی هر طرح بر اساس زیر معیارهای مختلف

میانگین وزنی ساده	سیمای سرزمین	وجود آثار باستانی و میراث فرهنگی پیرامون طرح	پناهگاه حیات وحش کیامکی	کاربری اراضی کشاورزی	زمین شناسی	زیرمعیارهای مطرح:
						گزینه‌ها
						وزن زیرمعیارها
						کم متوسط زیاد خیلی زیاد
۱/۳۹	۳	۰	۰	۲	۲	مسیر ۱
۱/۳۹	۳	۰	۰	۲	۲	مسیر ۲
۱/۸۳	۱	۳	۲	۲	۱	مسیر ۳
۱/۵۲	۱	۳	۲	۱	۱	مسیر ۴

آن را برابر فرض کرده و در محاسبات از آن صرف نظر نمود. در جدول ۳ مقادیر کمی نرمال شده ارزیابی معیارها از دید هر تصمیم‌گیر و نتیجه تصمیم گروهی آمده است.

جدول ۳- مقادیر نرمال شده ارزیابی شاخصها به صورت فردی و گروهی

وزن گروهی	نظرات تصمیم‌گیران (نرمال شده)			شاخص‌ها
	DM ₃	DM ₂	DM ₁	
۰/۲۷۹	۰/۲۳۰	۰/۲۴۰	۰/۳۰۰	اثرات زیست محیطی
۰/۲۹۱	۰/۳۲۰	۰/۲۰۰	۰/۳۵۰	هزینه اجرای طرح
۰/۲۲۷	۰/۱۸۰	۰/۲۸۰	۰/۲۰۰	سهولت اجرا
۰/۲۰۳	۰/۲۷۰	۰/۲۸۰	۰/۱۵۰	پذیرش اجتماعی

البته برای هر معیاری یک شاخص کمی هم تعریف شده تا تصور معنی معیار برای تصمیم‌گیران آسان و یکسان باشد. یکی از موارد مهم در تصمیم‌گیری گروهی و بررسی پایدار بودن نتایج آن، توافق میان تصمیم‌گیران است. در صورتی که اتفاق نظر در میان افراد تصمیم‌گیر از حد معینی کمتر باشد، می‌توان با شناسایی معیارهای مورد اختلاف و انجام مذاکرات موثر میان ذینفع‌ها، نتایج را بهبود داد و تصمیم‌گیری را پایدار کرد. برای این کار نیاز به ملاکی برای سنجش میزان توافق میان تصمیم‌گیران می‌باشد که در این مقاله از رابطه معرفی شده توسط Kuncheva (1994) به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$C(DM_i) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |D_i(A_j) - GD(A_j)|^\alpha \quad (9)$$

که در آن $C(DM_i)$ میزان توافق بین نظرات تصمیم‌گیر نام بانظر گروه می‌باشد. $D_i(A_j)$ نظر تصمیم‌گیر یا ذینفع نام روی مولفه نام و $GD(A_j)$ مقدار عددی تصمیم‌گیر روی مولفه نام است. n تعداد مولفه‌هاست و α نیز پارامتری است که اهمیت میزان اختلاف‌ها را نشان می‌دهد، به طوری که با افزایش آن تاثیر اختلاف‌های بیشتر، زیادتر می‌شود. در شکل ۵ با فرض $\alpha=1$ و با استفاده از رابطه (۹) میزان توافق هر یک از تصمیم‌گیران با تصمیم گروهی محاسبه شده است. طبق نظر Ashton (1992) آستانه حداقل درجه توافق برای قبول نتایج تصمیم‌گیری گروهی، در حدود مقدار $0/6$ می‌باشد. نتایج محاسبات (شکل ۵) نشان می‌دهد که اجماع کافی بین هر یک از تصمیم‌گیران با تصمیم گروهی وجود دارد و لذا مقادیر وزن معیارهای گروهی قابل قبول می‌باشد.

طرحها باید به گونه‌ای اجرا گردند که روند زندگی روزمره مردمی را که در معرض آثار آن قرار می‌گیرند مختل نکرده و موجب بهبود سطح زندگی و افزایش رفاه عمومی شوند. در غیر اینصورت باعث عدم پذیرش طرح، اختلال و کشمکش‌های حقوقی در روند اجرای آن خواهد شد. لذا باید در مقایسه گزینه‌های پیش‌بینی شده برای انتخاب مسیر نهایی، عامل پذیرش اجتماعی نیز لحاظ شود. از این رو با بررسی مسیرهای پیشنهادی نتایج زیر بدست آمده است: مسیرهای ۱ و ۲ به دلیل دوری از اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی به ازای یک هزینه ثابت، آثار منفی اجتماعی بیشتری خواهد داشت. مسیرهای ۲، ۳ و ۴ از اراضی روستای سفیدکمر از توابع صوفیان می‌گذرند و مسیر ۳ علاوه بر آن، از اراضی کشاورزی و باغات پایین‌دست مرند نیز عبور می‌کند که آثار منفی آن بر پذیرش طرح از سوی اهالی این مناطق باید در نظر گرفته شود.

۵- محاسبات و تحلیل نتایج

۵-۱- تصمیم‌گیری گروهی و ارزیابی میزان توافق

با توجه به جنبه‌های مختلف اقتصادی، زیست محیطی، فنی و اجتماعی در طرح انتقال آب ارس از یک سو و تاثیر تصمیم‌گیران مختلف در تصمیم‌گیری نهایی از سوی دیگر، لحاظ نگرش‌های آنها در مدل‌سازی این فرایند لازم است. با این کار می‌توان با ایجاد کارآمدی بیشتر از اختلاف‌ها و کشمکش‌های بین‌بخشی کم کرده و با بهینه‌سازی زمان و نیروی انسانی سازمانی، با هزینه کمتری به نتیجه نهایی رسید. لذا در این جا برای رسیدن به این هدف از یک مدل تصمیم‌گیری گروهی استفاده شده است که در آن برای تعیین وزن معیارها از سه مدیر طرح، به عنوان افراد اصلی در فرایند تصمیم‌گیری نظرخواهی شده است. نظرات این افراد روی معیارها به عنوان قضاوت مهندسی بوده و مبتنی بر اطلاع ایشان از شرایط تصمیم‌گیری در این مساله است. برای تجمیع نظرات کیفی آنها با استفاده از روش OWA و جدول ۱، درجه خوش‌بینی $\theta=0/333$ انتخاب شده است که از دید مدیر گروه تصمیم‌گیری نظرات "بیشتر تصمیم‌گیران" را در نظر می‌گیرد. مقدار بردار وزن سه تصمیم‌گیر باتوجه به میزان تاثیرگذاری آنها، سابقه کاری و سمت آنها در سازمان مربوطه از یک کارشناس مستقل که به توانایی و اطلاعات این سه تصمیم‌گیر اطلاع داشته سوال شده که به صورت اعداد کیفی (نسبتا کم، متوسط، نسبتا کم) $u=$ پاسخ داده شده است. در واقع در این مساله نظرات نفر دوم اهمیت بیشتری نسبت به نفر اول و سوم دارد. حال به کمک استاندارد ارایه شده در بند الف بخش ۲ مقاله می‌توان این سه عدد کیفی را تبدیل به اعداد کمی نمود. لازم به ذکر است که در صورت عدم اطلاع از وزن نسبی این سه تصمیم‌گیر می‌توان

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m d_i^2}{m(m^2 - 1)} \quad (10)$$

در این معادله d_i تفاضل رتبه بین دو روش مورد بررسی در گزینه نام و m تعداد گزینه‌ها می‌باشد.

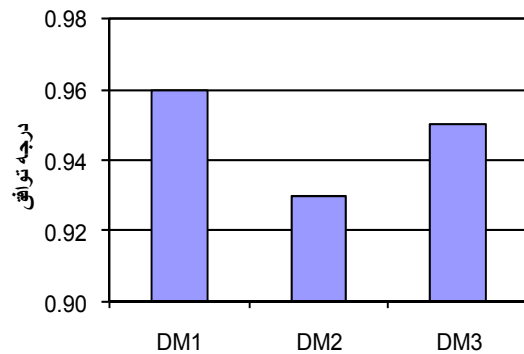
با ملاحظه امتیازات گزینه‌ها در جدول ۶ (جهت اختصار تنها رتبه آنها آورده شده است) و نیز درجه همبستگی نتایج حاصل از هر روش، نتایج جالب زیر حاصل می‌شود:

جدول ۴- ارزیابی مسیرهای پیشنهادی بر اساس معیارهای زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجتماعی

شاخص‌ها				گزینه‌ها
پذیرش اجتماعی	سهولت اجرا	هزینه اجرای طرح (میلیارد ریال)	اثرات زیست محیطی (از جدول ۲)	
وزن گروهی معیارها (از جدول ۳)				
۰/۲۰۳	۰/۲۲۷	۰/۲۹۱ (منفی)	۰/۲۷۹ (منفی)	
متوسط	خیلی کم	۲۱۰۶	۱/۳۹	مسیر ۱
نسبتا کم	نسبتا زیاد	۱۸۹۵	۱/۳۹	مسیر ۲
کم	متوسط	۱۶۱۴	۱/۸۳	مسیر ۳
نسبتا زیاد	متوسط	۱۶۸۴	۱/۵۲	مسیر ۴

جدول ۵- مقادیر نرمال شده و وزن دار ارزیابی مسیرها

شاخص‌ها				گزینه‌ها
پذیرش اجتماعی	سهولت اجرا	هزینه اجرای طرح	اثرات زیست محیطی (از جدول ۲)	
۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸	مسیر ۱
۰/۰۷	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۲۸	مسیر ۲
۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۰۰	مسیر ۳
۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۲۰	مسیر ۴



شکل ۵- میزان توافق هر یک از تصمیم‌گیران با تصمیم گروهی

حال با اتکاء به نتایج تصمیم‌گیری گروهی، به تحلیل چندمعیاره گزینه‌ها می‌پردازیم. ابتدا در جدول ۴ مقادیر ارزیابی مسیرها نشان داده است. در این جدول مقادیر ارزیابی اثرات زیست محیطی از جدول ۲ بدست آمده است. اعداد ستون وسط مربوط به هزینه اجرای طرح نیز از گزارشات مهندسی مشاور استخراج شده که شامل هزینه‌های خرید لوله، ایستگاه پمپاژ، هزینه احداث تونل و هزینه احداث شیرخانه به میلیارد ریال می‌باشد. دو ستون مربوط به ارزیابی طرح‌ها از دید سهولت اجرا و پذیرش اجتماعی ضمن ملاحظه مطالب بندهای ۳-۴ و ۴-۴ و به علت نبود مطالعات قبلی از کارشناس مسوول طرح به کمک متغیرهای بیانی سوال گردیده است. وزن گروهی معیارها نیز همانطور که قبلا در جدول ۳ محاسبه گردید لحاظ شده است.

ابتدا برای کمی‌سازی مقادیر بیانی و نرمال‌سازی آنها از بند الف و ب بخش ۲ استفاده می‌شود. در جدول ۵ مقادیر نرمال شده و وزن دار برای ارزیابی گزینه‌ها آورده شده است.

۵-۲- اولویت‌بندی طرح‌ها

در این قسمت چهار مسیر پیشنهاد شده برای طرح انتقال آب، بوسیله روش‌های معرفی شده در بخش‌های قبلی تحلیل گردیده‌اند. پس از انجام محاسبات، نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها در جدول ۶ ارائه شده است. در این جدول رتبه کمتر اولویت بالاتر را نشان می‌دهد. برای بررسی همبستگی رتبه‌های ارائه شده در هر روش، ضریب همبستگی اسپیرمن محاسبه شده و در سطر نهایی جدول ۶ ارائه شده است. برای انجام این محاسبه، روش میانگین وزنی ساده مینا قرار گرفته و از معادله زیر (Kottegoda and Rosso, 2008) برای محاسبه ضریب استفاده شده است:

جدول ۶- رتبه گزینه‌ها با استفاده از روش‌های مختلف

میانگین وزنی ساده	برنامه‌ریزی سازشی			TOPSIS	میانگین وزنی مرتب (کمیت سنج فازی جدول ۱)							گزینه‌ها
	$1p=$	2 و $3p=$	$10p=$		حداقل یکی	کمی از معیارها	بعضی از معیارها	نصف معیارها	بیشتر معیارها	خیلی بیشتر معیارها	همه معیارها	
۴	۴	۴	۳	۲	۲	۲	۴	۴	۳	۲	۲	مسیر ۱
۲	۲	۲	۲	۴	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۱	مسیر ۲
۳	۳	۳	۱	۱	۴	۴	۳	۳	۴	۴	۴	مسیر ۳
۱	۱	۱	۴	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۳	مسیر ۴
۱/۰	۱/۰	۱/۰	-۰/۴	-۰/۶	۰/۴	۰/۴	۱/۰	۱/۰	۰/۸	۰/۰	۰/۰	ضریب همبستگی اسپیرمن

۶- مسیرهای ۲ و ۳ در حال رقابت با یکدیگر برای کسب رتبه دوم هستند.

با عنایت به موارد فوق، انتخاب یک روش مطمئن برای رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در مطالعات آتی دشوار می‌باشد. برای حل این مساله می‌توان یک ماتریس تحلیل چندمعیاره برای انتخاب روش برتر به صورت جدول ۷ ارائه نمود.

جدول ۷ مویید این است که مطالعات بعدی برای انتخاب روش مناسب برای تحلیل چندمعیاره، خود نیازمند یک تحلیل چندمعیاره می‌باشد. در این تحلیل، مهمترین عوامل عبارت از تعیین معیارهای مقایسه روشها و نیز وزن نسبی آنها می‌باشند. البته در یک نگاه اولیه به جدول ۷ درمی‌یابیم که روش میانگین وزنی ساده می‌تواند مطلوبیت قابل قبولی از دید تصمیم‌گیران داشته باشد. زیرا اغلب آنها فرصت، علاقه و یا صلاحدید کافی برای ارائه پارامترها و نیز درگیری در فرآیند روش تحلیل چندمعیاره را ندارند. (Hajkowicz 2008) نیز با تایید این نکته، روش میانگین وزنی ساده را به دلیل سادگی و دقت آن در مقایسه با روشهای پیچیده، روش مناسبی برای تصمیم‌گیری در مسائل زیست‌محیطی معرفی کرده است. روش TOPSIS قبلا توسط برخی از جمله Kim et al. (1997) و Shih et al. (2007) توصیه شده در حالی که در این مطالعه عملکرد ضعیفی از خود نشان می‌دهد. بررسی این تضاد خود می‌تواند موضوع مطالعه بعدی باشد. از سوی دیگر روش میانگین وزنی مرتب قابلیت مدل‌سازی ریسک‌پذیری یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیران را دارد در حالی که روش میانگین وزنی ساده نگرش ذهنی تصمیم‌گیر را خنثی فرض می‌کند.

۱- در حالت استفاده از روش برنامه‌ریزی سازشی در مقادیر p از ۱/۰ تا ۳/۰، رتبه گزینه‌ها فرقی ننموده و مانند روش میانگین وزنی ساده می‌باشد.

۲- طبق تئوری در حالت استفاده از کمیت سنج "نصف معیارها" که مبین حالت خنثی در دیدگاه ریسک‌پذیری/ریسک‌گریزی است، عملگر میانگین وزنی مرتب تبدیل به میانگین وزنی ساده می‌گردد. این نکته در نتایج (جدول ۶) نیز نمایش داده شده است.

۳- با تحلیل فراوانی بر روی نتایج جدول ۶، گزینه مسیر ۴ به عنوان گزینه برتر و مسیر ۱ به عنوان نامطلوب‌ترین گزینه معرفی می‌گردند. درواقع این نتایج منطبق بر استفاده از میانگین وزنی ساده، میانگین وزنی مرتب در طیف وسیعی و روش برنامه‌ریزی سازشی با پارامتر توان بین یک تا ۳ است.

۴- درجه همبستگی نتایج روش TOPSIS با روش میانگین وزنی ساده عدد منفی قابل توجهی است. در واقع نتایج استفاده از این روش نسبت به سایر روشها کاملا تفاوت دارد. نکته نامطلوب دیگر در مورد روش TOPSIS این است که در این تحقیق، دارای قدرت تفکیک کافی بین امتیاز گزینه‌ها نبود. برای تایید این نکته واریانس امتیاز گزینه‌ها در روش TOPSIS نسبت به روش میانگین وزنی ساده محاسبه گردید. این عدد کمتر از ۰/۰۰۱ بود که بسیار ناچیز می‌باشد.

۵- بین نتایج روش برنامه‌ریزی سازشی با پارامتر p از ۱/۰ تا ۳/۰، و روش میانگین وزنی مرتب با کمیت‌سنج‌های نصف معیارها و بعضی از معیارها همبستگی کامل وجود دارد. در واقع در این حالت، روش برنامه‌ریزی سازشی حالت خاصی از میانگین وزنی مرتب است که اثبات ریاضی آن توسط Zarghami and Szidarovszky (2008) ارائه شده است.

جدول ۷- مقایسه کلی چهار روش تحلیل چندمعیاره

معیارها				روشهای مختلف
صلب بودن نتایج	تشخیص کافی بین امتیاز گزینه‌ها	لحاظ درجه خوشبینی تصمیم‌گیر	سادگی محاسبات برای تصمیم‌گیر	
✓	✓	-	✓	میانگین وزنی ساده
-	✓	-	-	برنامه‌ریزی سازشی
✓	-	-	-	TOPSIS
-	✓	✓	-	میانگین وزنی مرتب

۶- نتیجه گیری

پی‌نوشت‌ها

- 1- Ordered Weighted Averaging: OWA
- 2- Simple Weighted Averaging: SWA
- 3- Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSIS
- 4- Compromise Programming: CP
- 5- Analytic Hierarchy Process: AHP
- 6- ELimination and Choice Expressing REality
- 7- Water logging

در این مقاله اهمیت استفاده از روشهای تحلیل چندمعیاره برای مدیریت بهتر در ساخت طرحهای توسعه‌ی منابع آب مورد تاکید قرار گرفت. سپس با توجه به تاثیر معیارهای مختلف در مدیریت طرح انتقال آب ارس و نیز لحاظ تصمیم‌گیری یا نگرش‌های مختلف، ابتدا برای استخراج وزن معیارها از تصمیم‌گیری گروهی با کنترل مقدار توافق استفاده گردید. سپس برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از چهار روش مطرح تصمیم‌گیری چند معیاره با عناوین میانگین وزنی ساده، TOPSIS، برنامه‌ریزی سازشی و عملگر میانگین وزنی مرتب استفاده شد. نتایج نشان دادند که مسیر ۴، با کسب رتبه اول در اکثر روشها، گزینه برتر می‌باشد که خوشبختانه مدیران طرح در تصمیم‌گیری واقعی (اداری) نیز به این تصمیم رسیده‌اند. البته این نتیجه در همه طرحهای انتقال آب کشور صادق نبوده و در مطالعه زرغامی و همکاران (۱۳۸۶) نشان داده شده که در طرحهای انتقال آب به زاینده‌رود لزوماً گزینه برتر در عمل به اجرا نیامده است. لذا توصیه می‌شود که ضمن تهیه یک استاندارد برای انتخاب طرحهای انتقال آب (که در سالهای آتی در کشور بیشتر مطرح خواهد شد) مسیر بهینه انتخاب گردد تا این تصمیم‌ها پایدار بوده و مورد استفاده موثر قرار گیرند. روش تحلیل چندمعیاره ارائه شده در این مقاله می‌تواند برای تهیه این استاندارد ارزیابی طرحهای توسعه منابع آب در ایران مورد استفاده گردد.

۸- مراجع

- رضوی طوسی، س. ل.، سامانی جمال، م. و. و کوره پزان دزفولی، ا. (۱۳۸۶). "اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای گروهی فازی"، *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، سال ۳، شماره ۲، صص ۱-۹.
- زرغامی، م. و ابریشم‌چی، ا. (۱۳۸۳) "استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت طرهای انتقال بین حوضه‌ای آب"، *سمینار انتقال بین‌حوضه‌ای آب و نقش آن در توسعه پایدار کشور*، ۲۸ آبان ۱۳۸۳ دانشگاه صنعت آب و برق.
- زرغامی، م.، اردکانیان، ر. و مدرس یزدی، م. (۱۳۸۶) "اولویت‌بندی طرهای انتقال بین حوضه‌ای آب با استفاده از عملگر تجمع میانگین وزنی مرتب استقرائی"، *مجله علمی پژوهشی شریف*، شماره ۳۷، (یادداشت فنی) صص ۹۹-۱۰۹.
- کارآموز، م.، مجاهدی، س. ع. و احمدی، آ. (۱۳۸۶). "ارزیابی اقتصادی و تعیین سیاست‌های بهره‌برداری انتقال آب بین حوضه‌ای"، *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، سال ۳، شماره ۲، صص ۱۰-۲۵.
- مهندسین مشاور فرازآب، (۱۳۸۷)، "گزارش تکمیلی برنامه‌ریزی منابع آب و خاک طرح توسعه بهره‌برداری از رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی".

۷- تشکر

از همکاری همه‌جانبه‌ی مدیران محترم سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی بویژه آقایان جلیل‌زاده، شاهی و خوابی قدردانی می‌گردد.

- Ghassemi F. and White, I. (2007), *Inter-Basin Water Transfer: Case Studies from Australia, United States, Canada, China and India*, Cambridge University Press.
- Hajkowicz, S., and Collins, K., (2007), "A review of multiple criteria analysis for water planning and management", *Water Resources Management*, 21: pp. 1553-1556.
- Hajkowicz, S. (2008), "Supporting multi-stakeholder environmental decisions", *Journal of Environmental Management*, 88: pp. 607-614.
- Joubert, A., Stewart, T.J., and Eberhard, R. (2003), "Evaluation of water supply augmentation and water demand management options for the City of Cape Town", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12(1): pp. 17-25.
- Kim, G., Park, C.S., and Yoon, K.P. (1997). "Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement", *International Journal of Production Economics*, 50: pp. 23-33.
- Kottegoda, N.T. and Rosso, R. (2008). *Applied Statistics for civil and environmental engineers*, (2nd ed.) Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Kuncheva, L.I. (1994). "Pattern recognition with a model of fuzzy neuron using degree of consensus". *Fuzzy Sets and Systems*, 66: pp. 241-250.
- Lee, C.S., and Chang, S.P., (2005), "Interactive fuzzy optimization for an economic and environmental balance in a river system" *Water Research*, 39(1): pp. 221-231.
- Shih, H.S., Shyur, H.J., and Lee, E.S. (2007). "An extension of TOPSIS for group decision making", *Mathematical and Computer Modelling*, 45: pp. 801-813.
- Shiklomanov, I.A. (1999), "Water transfer as one of the most important ways... ", *International Workshop on IBWT*, UNESCO, Paris.
- TDA (2006), "Reducing Transboundary Degradation of Kura-Aras River Basin Project", National Report of Islamic Republic of Iran: http://www.wrm.ir/araskura/files/Iran_TDA_final.pdf
- Xu, Z.S. (2005). "An overview of methods for determining OWA weights", *International Journal of Intelligent Systems*, 20: pp. 843-865.
- Yager, R.R. (1988), "On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics- Part B*, 18: pp. 183-190.
- Zarghami, M., Ardakanian, R., Memariani, A., and Szidarovszky, F. (2008), "Extended OWA operator
- مهندسين مشاور لار، (۱۳۸۵)، "گزارش مطالعات امکان سنجی انتقال آب از رودخانه‌ی ارس به مناطق شرق و شمال شرق دریاچه‌ی ارومیه، شناخت مقدماتی محیط زیست (IEE)".
- هیات دولت جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۸۲) "مصوبه راهبردهای بلندمدت توسعه منابع آب کشور".
- میان‌آبادی، ح. و افشار، ع.، (۱۳۸۶)، "تصمیم‌گیری چندشاخصه در رتبه‌بندی طرحهای تامین آب شهری"، *مجله آب و فاضلاب*، ۶۶ صص ۳۴-۴۵.
- Abrishamchi, A., A. Ebrahimian, M. Tajrishi, and Mariño, M. A. (2005). "Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(4): pp. 326-335.
- Agrell, P.J., Lence, B.J., and Stam, A. (1998), "An interactive multicriteria decision model for multipurpose reservoir management: the Shell mouth reservoir", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 7(2): pp. 61-86.
- Al-Rashedan, D., Al-Kloub, B., Dean, A., and Al-Shemmeri, T. (1999), "Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan", *European Journal of Operational Research*, 118(1): pp. 30-45.
- Ashton, R.H. (1992). "Effects of justification and a mechanical aid on judgment performance". *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 52(2), pp. 292-306.
- Cables Perez, E.H., Garcia Cascales, M.S., and Lamat, M.T. (2008). "The use of different norms in the TOPSIS decision making method", *Proc. of the 8th International FLINS Conference on Computational Intelligence in Decision and Control*, 21-24 September 2008, Madrid, Spain, pp. 501-506, World Scientific: Singapore.
- Chang, N.B., When, C.G., and Chen, Y.L., (1997), "A fuzzy multi-objective programming approach optimal management of the reservoir watershed", *European Journal of Operational Research*, 99(2): pp. 289- 302.
- Cox, W. (1999), "Determining when interbasin water transfer is justified: criteria for evaluation", *International Workshop on IBWT*, UNESCO, Paris.
- Ghanbarpour, M.R., Hipel, K.W., and Abbaspour, K.C. (2005). "Prioritizing long-term watershed strategies using group decision analysis", *International Journal of Water Resources Development*, 21(2): pp. 297-309.

Conference on Multiple Criteria Decision Making,
7-12 January 2008, Auckland, New Zealand, pp.
141-142.

Zarghami, M. (2011), "Effective watershed
management; Case study of Urmia Lake, Iran",
Lake and Reservoir Management, 27(1): pp. 1-8.

for group decision making on water resources
projects", *Journal of Water Resources Planning and
Management*, 134(3): pp. 266-275.

Zarghami, M., and Szidarovszky, F. (2008), "Using
OWA operators to explain compromise
programming method", *19th International*

Archive of SID