مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

صفحه‌های ۹۰-۷۵

اولویت‌بندی مدیریتی تعدادی از حوضه‌های آبریز کشور با استفاده از روش‌های فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و الگوریتم ترکیبی جدید بر اساس TOPSIS–ANP فازی

سیده لیلا رضوی طوسی[۱]، جمال محمد ولی سامانی*[۲]

۱. دانشجوی فوق‌دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران – ایران

۲. استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران– ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

چکیده

آب از محورهای اصلی توسعهٔ پایدار و رکن اساسی آمایش سرزمین است و مدیریت پایدار کمی و کیفی منابع و مصارف آن، نقش مهمی در ارتقای بهداشت، رفاه اجتماعی و توسعهٔ پایدار دارد. از طرف دیگر، با توجه به ارزش اجتماعی، اقتصادی، امنیتی، سیاسی و زیست‌محیطی این مادهٔ حیاتی، تصمیم‌گیری و مدیریت در زمینهٔ منابع آب بسیار مهم است. راهبردهای توسعهٔ بلندمدت بخش آب کشور، گذشته از اینکه راهنمای مناسبی برای تدوین برنامه‌های مدیریت آب کشور در حوضه‌های آبریز است، با ایجاد هم‌پیوندی در عرصه‌های مدیریت فرابخشی آب، موجب بهره‌برداری بهینه از منابع آب کشور خواهد شد. در برنامه‌ریزی کلان ملی، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز، بخش مهمی از برنامهٔ جامع آب در زمینهٔ تخصیص منابع برای حوضه‌های آبریز است که کمتر به آن توجه شده است. با توجه به اهمیت مسئله و پیچیدگی آن به‌علت وجود راهبردهای مختلف با درجات تأثیر متفاوت و همچنین ارتباطات پیچیدهٔ بین راهبردها، در این تحقیق اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با استفاده از روش ANP و روش ترکیبی ANP با TOPSIS فازی انجام گرفته است. گزینه‌های بررسی‌شده، حوضه‌های آبریز بحرانی کشور شامل حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، اترک، سفیدرود، دریاچهٔ نمک و زاینده‌رود است. نتایج نشان می‌دهند که حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه و اترک، به‌ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز را دارند. این بدان معناست که حوضهٔ آبریز ارومیه برای اعمال راهبردهای بخش آب در اولویت قرار دارد و به‌عبارتی بحرانی‌ترین حوضه است. درنتیجه، اعمال راهبردهای آب در این حوضهٔ آبریز نسبت به دیگر حوضه‌ها ضروری‌تر است.

کلیدواژه‌ها: اولویت‌بندی، حوضهٔ آبریز، روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، روش TOPSIS فازی، مدیریت.

* نویسنده مسئول Email: samani_j@modares.ac.ir

مقدمه

آب از منابع اصلی حیات انسان و دیگر موجودات زنده است. ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک با بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر است که این رقم، حدود ۳۰ درصد متوسط بارش خشکی‌های کرهٔ زمین است. افزایش نیاز آبی، زنگ خطری برای کاهش مقدار آب برگشت‌پذیر سالانه است، به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵، ایران در گروه کشورهایی که با بحران کمبود آب مواجهند، قرار گیرد (۲۷). راهبردهای توسعهٔ بلندمدت منابع آب کشور، راهنمای مناسبی برای تدوین برنامه‌های مدیریت حوضه‌های آبریز کشور است و در عین حال با ایجاد هم‌پیوندی در عرصه‌های مدیریت فرابخشی آب، موجب بهره‌برداری بهینه از منابع آب کشور خواهد شد. از جمله مسائل مهم مطرح در این زمینه، بررسی حوضه‌های آبریز کشور با در نظرگرفتن راهبردهای مختلف بخش آب و شاخص‌های اصلی توسعهٔ منابع آب کشور است. راهبردهای بخش آب کشور بر اساس نگرشی جامع و با درنظر گرفتن هماهنگی‌های متقابل بخش‌های مختلف شامل مدیریت کلان، مدیریت منابع آب کشور، مدیریت مصارف، ارزش اقتصادی، کنترل کیفیت، هزینهٔ تأمین، مبادلهٔ آب، آمایش سرزمین، انتقال میان‌حوضه‌ای، مدیریت و ساختار، تقسیمات حوضه‌ای، مدیریت پیشگیری، توزیع آب شهری، آموزش همگانی، آب‌های مشترک و مرزی، مدیریت اطلاعات، حفاظت بناهای تاریخی و مدیریت فرابخشی است. باتوجه به وجود معیارها و زیرمعیارهای مختلف در ارزیابی و اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز و ارتباطات پیچیده بین آنها، این مسائل در قالب مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای مطرح می‌شوند. در مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای، تصمیم‌گیرنده با انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های مختلف با در نظرگرفتن معیارهایی که اغلب در تضاد با یکدیگرند، روبه‌روست (۹).

تحقیقات زیادی در زمینهٔ استفاده از روش‌های MADM[1] درمدیریت منابع آب اجرا شده است. از جملهٔ این تحقیقات، استفاده از روش ELECTREEII در طرح‌های منابع آب (۱۱)، به‌کارگیری روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم فازی در اولویت‌بندی طرح‌های حوضهٔ آبریز Krishna در هند (۱۲)، اولویت‌بندی پروژه‌های منابع آب در کشور اسپانیا با استفاده از پنج روش مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره (۱۳)، استفاده از روش‌های MADM به‌عنوان شیوه‌های توسعهٔ پایدار منابع آب (۵)، معرفی روش FCP[2] در ارزیابی گزینه‌های مختلف در تصمیم‌گیری پروژه‌های منابع آب (۲۱)، ارزیابی گزینه‌های مدیریت آب با روش TOPSIS و CP (۲۲)، معرفی روشی بر اساس ارزیابی چندمعیاره و مجموعه‌های فازی در اولویت‌بندی پروژه‌های منابع آب (۷) و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در Melana با استفاده از روش‌های FCP و AHP (۲۶) هستند. در ایران تحقیقی در زمینهٔ معرفی معیارهای اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب اجرا شد که در آن، درخت معیارها برای ارزیابی پروژه‌های آبی در ایران معرفی شد (۲۷). همچنین از روش‌های تصمیم‌گیری فازی در ارزیابی پروژه‌های حوضهٔ زاینده‌رود (۲۸) و مدیریت آب شهری (۲۹) استفاده شده است. تحقیقات دیگر در این زمینه شامل استفاده از روش AHP فازی در ارزیابی طرح‌های مدیریت آب در بخشی از حوضهٔ Paraguacu در برزیل (۲۳)، معرفی روشی جدید بر اساس ترکیب عملگر OWA و فازی در زمینهٔ پروژه‌های آب‌بین‌حوضه‌ای (۳۰) و اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ (۱۵) است. همچنین طرح‌های انتقال آب کارون بزرگ با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای گروهی فازی ارزیابی شدند (۲،۱).

1. Multiple Attribute Decision Making
2. Fuzzy Compromise Programming

در بسیاری از مسائل در زمینهٔ تصمیم‌گیری به‌علت وجود تعاملات و ارتباطات پیچیده بین معیارها و گزینه‌ها، امکان ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی وجود ندارد. یکی از معایب روش‌های قدیمی تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله روش AHP، درنظر نگرفتن ارتباطات موجود بین معیارها است. بنابراین یک ساختار سلسله‌مراتبی، برای سیستم‌های پیچیده مناسب نیست (۲۰). برای حل این مشکل، در سال ۱۹۹۶ روش ANP به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای که بر اساس مقایسهٔ زوجی گزینه‌ها است، ارائه شد (۱۶). این روش در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری که شامل اولویت‌بندی گزینه‌ها است، کاربرد دارد که برخی از تحقیقات در این زمینه عبارتند از: اولویت‌بندی پروژه‌های سیستم اطلاعات (۸)، پیش‌بینی بحران اقتصادی (۱۰)، اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت دانش (۲۵)، مدیریت جنگل‌ها (۲۴)، ارزیابی مهندسی تفریحات پارک دیزنی[1] (۱۸) و استفاده از روش ANP در اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ (۱۴). در تخصیص منابع برای حوضه‌های آبریز در برنامه‌ریزی کلان ملی، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بخش مهمی از برنامهٔ جامع آب است که کمتر به آن توجه شده است. بیشتر تحقیقات در زمینهٔ اولویت‌بندی پروژه‌ها و طرح‌های اجرایی در یک منطقه یا مناطق مختلف است، درحالی‌که بررسی راهبردهای مختلف بخش آب با هدف توسعهٔ بلندمدت در سطح برنامه‌ریزی کلان برای اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بسیار حائز اهمیت است و نقش بسزایی در مدیریت مناسب حوضه‌های آبریز دارد.

باتوجه به اهمیت موضوع، هدف از اجرای این تحقیق، اولویت‌بندی پنج حوضهٔ آبریز بحرانی کشور به نام‌های حوضهٔ آبریز اترک، ارومیه، دریاچه نمک، سفیدرود و زاینده‌رود با استفاده از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی مانند فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش ترکیبی ANP با TOPSIS فازی است. راهبردهای بخش آب که محور برنامه‌ریزی ملی قرار می‌گیرند، شامل ۳۸ راهبرد (S_1, S_2, ..., S_{38}) هستند و در روش‌های بیان‌شده به‌عنوان زیرمعیار در ۱۰ بخش شامل ($C_1, C_2, ..., C_{10}$) که در روش ANP به آنها خوشه گفته می‌شود، دسته‌بندی می‌شوند. مجموعه‌ای از خوشه‌ها به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست-محیطی درنظر گرفته می‌شوند. بنابراین ساختار شبکه‌ای تشکیل‌شده شامل هدف، معیارهای اصلی، خوشه‌ها، زیرمعیارها و گزینه‌ها است. از آنجا که در روش TOPSIS فازی، ارتباطات شبکه‌ای بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و از طرف دیگر، وزن معیارها براساس نظر تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌شود، هدف از این تحقیق، استفاده از روش ترکیبی ANP با TOPSIS فازی در جهت به‌کار بردن مزیت‌های ساختار شبکه‌ای ANP در به‌دست آوردن وزن معیارهایی است که درروش TOPSIS فازی استفاده می‌شوند، به‌طوری‌که ابتدا وزن راهبردهای بخش آب با روش ANP و ساختار شبکه‌ای به‌دست آمده و سپس این وزن‌ها به اعداد فازی مثلثی تبدیل شده است که به‌عنوان ورودی روش TOPSIS فازی به‌کار برده می‌شوند. از روش TOPSIS فازی درحالتی‌که تصمیم‌گیرنده وزن معیارها را تعیین می‌کند نیز استفاده شده است. درنهایت نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند

مواد و روش‌ها

روش ANP

روش ANP، توسعه‌یافتهٔ روش AHP است که گامی جدید و اساسی در مسائل تصمیم‌گیری به‌شمار می‌رود (۱۶).

1. Disney park

روش ANP معایب روش‌های قدیمی تصمیم‌گیری از جمله روش AHP را برطرف می‌کند. برخلاف روش AHP با رابطهٔ سلسله‌مراتبی بین هدف اصلی، معیارها و گزینه‌ها که مدل کردن بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری با این ساختار امکان‌پذیر نیست، در روش ANP از یک ساختار شبکه‌ای استفاده می‌شود که در آن ، معیارهای سطوح پایین‌تر نیز می‌توانند در معیارهای سطوح بالاتر و معیارهای همان سطوح تأثیرگذار باشند (۳).

ساختار شبکه‌ای و مقایسهٔ زوجی

اولین مرحله در روش ANP ایجاد یک ساختار شبکه‌ای بر اساس ارتباط بین معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها و هدف است. سپس براساس ارتباطات تعریف‌شده، مقایسهٔ زوجی گزینه‌ها و معیارهای موجود در شبکه انجام می‌گیرد و ماتریس مقایسهٔ زوجی آنها تشکیل می‌شود. مشابه روش AHP، در اینجا نیز برای مقایسهٔ زوجی، به مقیاسی عددی برای تعیین مقدار اهمیت یک گزینه نسبت به گزینهٔ دیگر با درنظر گرفتن یک معیار مشخص نیاز است. این مقیاس‌ها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند (۱۹).

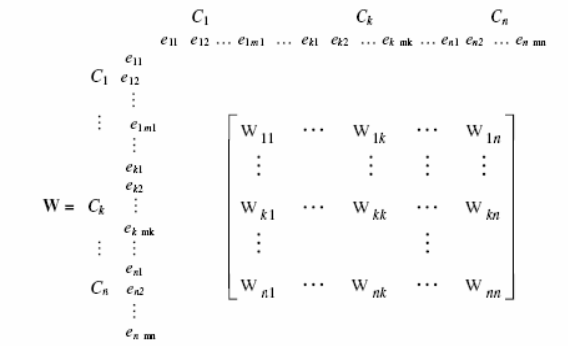
جدول ۱ . مقیاس‌های ارجحیت برای مقایسه‌های زوجی (۱۹)

ارجحیت	مقادیر عددی
اهمیت برابر	۱
اهمیت ناچیز یا ضعیف	۲
اهمیت متوسط	۳
اهمیت متوسط بیشتر	٤
اهمیت قوی	٥
اهمیت بیشتر از قوی	٦
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت خیلی خیلی قوی	۸
حداکثر اهمیت	۹
اگر فعالیت‌ها خیلی به هم نزدیک باشند	۱/۱-۱/۹

در روش ANP نیز مانند روش AHP، بنا به نظر Saaty، مقدار نرخ سازگاری برای سازگار بودن سیستم، باید کمتر از ۰/۱ باشد.

ابرماتریس[1]

امتیازات به‌دست‌آمده از مقایسهٔ زوجی ماتریس‌ها با در نظرگرفتن هر یک از معیارهای تأثیرگذار، در یک بخش از ابرماتریس وارد می‌شود. ابرماتریس تأثیر ارجحیت یک المان بر المان دیگر را با در نظر گرفتن یک معیار مشخص نشان می‌دهد (۱۷). ساختار یک ابرماتریس در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ . ساختار کلی ابرماتریس (١٦)

در این شکل، C_m نشان‌دهندهٔ m اُمین خوشه[2] ، e_{mn} بیانگر n اُمین المان در m اُمین خوشه و W_{ij} بردار ویژهٔ تأثیر المان‌های مقایسه‌شده در j اُمین و i اُمین خوشه است. همچنین اگر بین j اُمین و i اُمین خوشه در ساختار شبکه‌ای، ارتباطی وجود نداشته باشد، W_{ij} صفر است (٦). در مرحلهٔ بعد، بر اساس روش معرفی‌شده در نتایج یک تحقیق (۱)، ابرماتریس وزن‌دهی‌شده با ضرب درایه‌های ابرماتریس تشکیل شده در وزن‌های به‌دست‌آمده برای

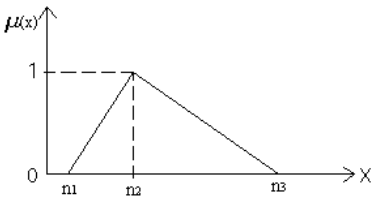
1-Super matrix
2- Cluster

هرستون، به‌دست می‌آید. سپس ابرماتریس وزن‌دهی‌شده را آنقدر به توان می‌رسانیم تا ماتریس احتمالاتی به‌دست آید، یعنی ماتریسی که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر با یک باشد. به این ماتریس، ماتریس حدی[1] گفته می‌شود. مقادیر به‌دست‌آمده در این ماتریس، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها را مشخص می‌کند.

روش ترکیبی ANP و TOPSIS فازی

در این روش، ابتدا وزن هر یک از راهبردها با استفاده از روش ANP محاسبه شده و سپس وزن‌های به‌دست‌آمده از روش ANP در روش TOPSIS فازی استفاده می‌شوند. اساس روش TOPSIS، تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی است که ستون‌های این ماتریس، معیارهای موردنظر و ردیف‌های آن، گزینه‌ها است. عناصر این ماتریس، یعنی $\tilde{x}_{ij}$، عملکرد گزینهٔ i اُم را با درنظرگرفتن معیار j اُم نشان می‌دهند. برای تبدیل عبارت‌های بیانی، از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود که در جدول ۲ نشان داده شده است (۴). اگر $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، تابع عضویت آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

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



شکل ۲ . تابع عضویت عدد فازی مثلثی

3- Limit matrix

جدول ۲ . تبدیل وزن معیارها و نسبت‌های گزینه‌ها به اعداد فازی مثلثی (٤)

اعداد فازی مثلثی (وزن معیارها)	عبارت‌های بیانی	اعداد فازی مثلثی (نسبت ارجحیت گزینه‌ها)
(۰،۰،۰/۱)	خیلی کم (VL)	(۱،۰،۰)
(۰،۰/۰،۱/۳)	کم (L)	(۳،۱،۰)
(۰/۰،۱/۰،۳/۵)	نسبتاً کم (ML)	(۵،۳،۱)
(۰/۰،۳/۰،۵/۷)	متوسط (M)	(۷،۵،۳)
(۰/۰،۵/۰،۷/۹)	نسبتاً زیاد (MH)	(۹،۷،۵)
(۰/۰،۷/۱،۹)	زیاد (H)	(۱۰،۹،۷)
(۰/۱،۱،۹)	خیلی زیاد (VH)	(۱۰،۱۰،۹)

در این روش، فاصلهٔ اقلیدسی بین هر یک از معیارها با نقطهٔ ایده‌آل مثبت (d_i^+) و منفی (d_i^-) به‌دست می‌آید و درنهایت ضریب نزدیکی هر یک از گزینه‌ها با استفاده از رابطهٔ ۱ مشخص می‌شود. گزینه‌ای که دارای ضریب نزدیکی بیشتری باشد، در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد. جزئیات روش TOPSIS فازی در مرجع ۱ توضیح داده شده است.

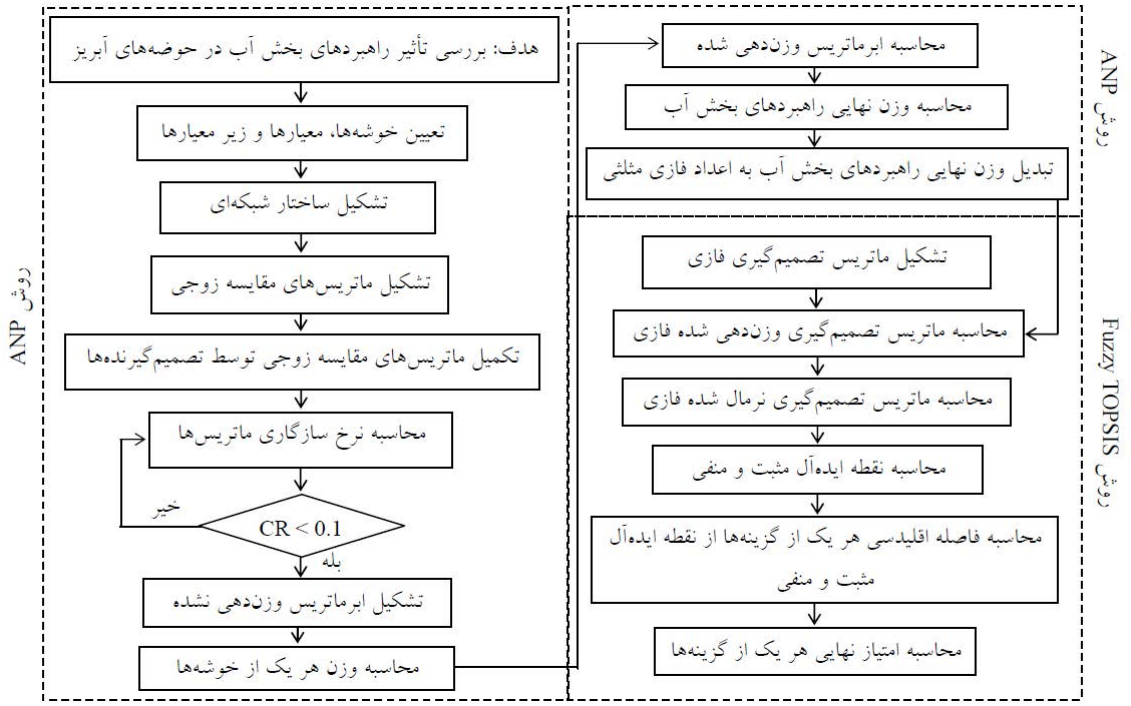
$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \qquad (۱)$$

الگوریتم روش ترکیبی پیشنهادی در شکل ۳ نشان داده شده است.

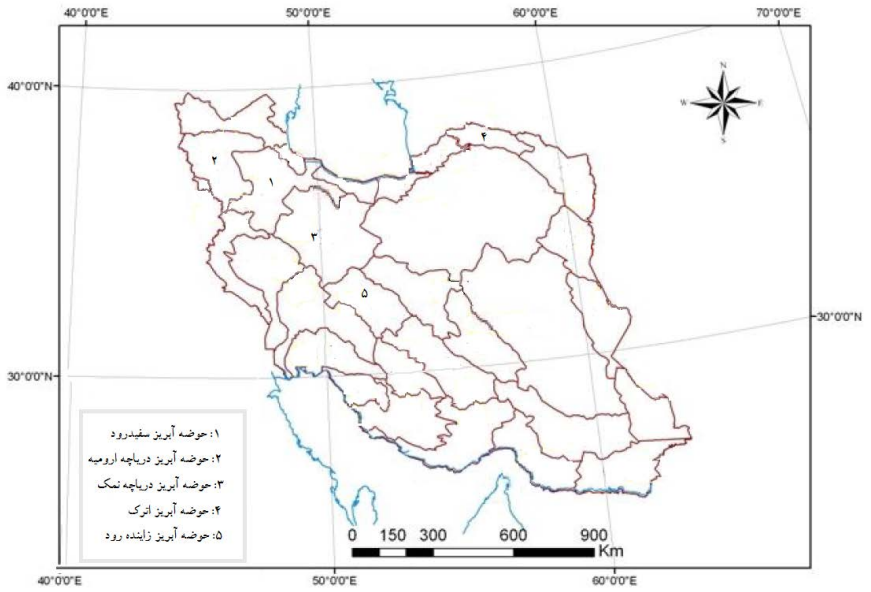
نمونهٔ مطالعاتی

ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک با منابع آب محدود است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۵، ایران در فهرست کشورهای دچار بحران آب قرار خواهد گرفت. توزیع نامناسب مکانی و زمانی آب و رشد جمعیت، موجب کمبود آب در بخش‌های بزرگی از کشور شده است (۲۷). از آنجا که در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب در سطح ملی، تخصیص منابع برای حوضه‌های آبریز بسیار

حائز اهمیت بوده و کمتر به آن توجه شده است، در این تحقیق با در نظر گرفتن راهبردهای بخش آب، اولویت‌بندی برخی از حوضه‌های آبریز بحرانی کشور با نگرش جدید در تصمیم‌گیری اجرا شده است.



شکل ۳ . الگوریتم روش ترکیبی ANP و TOPSIS فازی



شکل ٤ . حوضه‌های آبریز بررسی‌شده در مدل تصمیم‌گیری

گزینه‌ها و معیارها

اولین گام در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تعیین گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها است. گزینه‌ها شامل پنج حوضهٔ آبریز بحرانی کشور (حوضهٔ آبریز ارومیه، دریاچهٔ نمک، اترک، سفیدرود و زاینده‌رود) است. این حوضه‌های آبریز به‌ترتیب در شمال‌غربی ایران (در منطقهٔ آذربایجان)، کویر مرکزی ایران، شمال شرقی، شمال و فلات مرکزی ایران قرار دارند که در شکل ٤ نشان داده شده‌اند. ٤٨ خوشه و زیرمعیار در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شده که زیرمعیارها در جدول ۳ و خوشه‌ها در جدول ٤ نشان داده شده است.

ایجاد شبکه

مهم‌ترین مرحله در روش ANP، تعیین گزینه‌ها و معیارها و نیز تعریف ارتباط بین آنها است. در این روش، ارتباطات پیچیدهٔ بین گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها فضایی شبکه‌ای را تشکیل می‌دهد. ساختار شبکه‌ای در پنج سطح مختلف شامل هدف، معیارهای اصلی (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی)، خوشه‌ها ($C_1, C_2, \ldots, C_{10}$)، زیرمعیارها - شامل راهبردهای بخش آب- ($S_1, S_2, \ldots, S_{38}$) و گزینه‌ها است. چگونگی روابط بین سطوح مختلف در شکل ٤ نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، نه‌تنها امکان ارتباط بین گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها از سطوح بالاتر به سطوح پایین‌تر وجود دارد، بلکه در روش ANP امکان ارتباط از سطوح پایین‌تر به سطوح بالاتر و نیز ارتباط بین معیارهایی که در یک سطح هستند نیز وجود دارد، اما در روش AHP با یک شبکهٔ سلسله‌مراتبی روبه‌رو هستیم که در آن فقط سطوح بالاتر در سطوح پایین‌تر تأثیرگذارند.

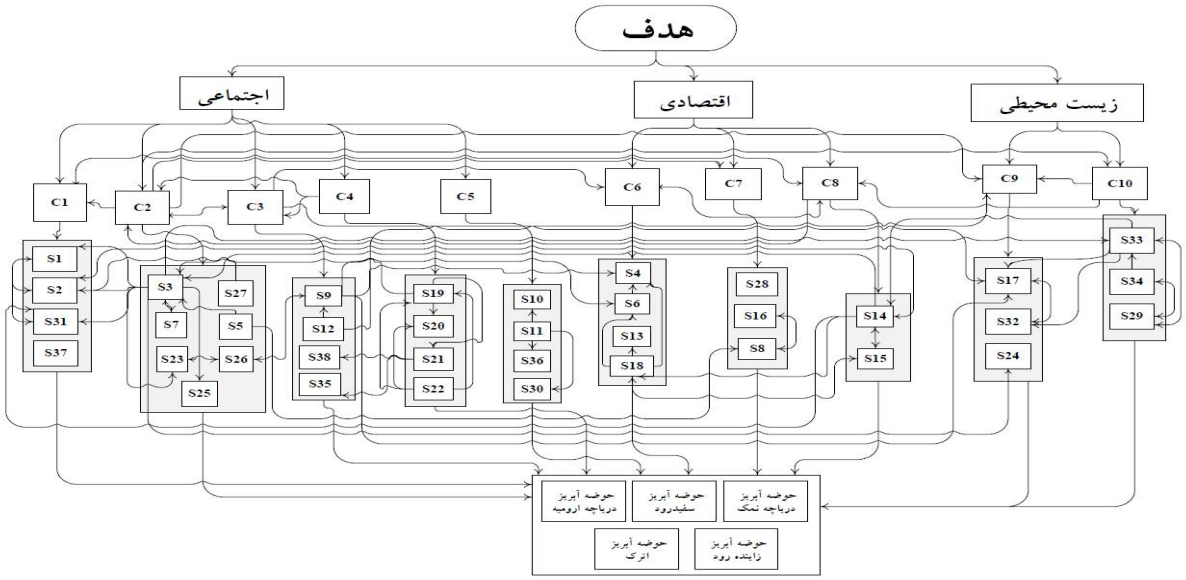
جدول ۳ . راهبردهای بخش آب به‌عنوان زیرمعیارهای روش ANP

S_1	ارتقا، استقرار و بازنگری نظام سنجش بهره‌وری آب در تعامل با بخش‌های مرتبط و ذی‌نفع
S_2	اعمال مدیریت تقاضا و عملیاتی‌کردن الگوی بهینهٔ مصرف در بخش‌های مختلف مصارف و اعمال سیاست‌های تشویقی و حمایتی
S_3	اعمال مدیریت به‌هم‌پیوستهٔ آب در سطح ملی و حوضهٔ آبریز با رعایت اصول توسعهٔ پایدار و هماهنگی متقابل بخش‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، زیربنایی و خدماتی
S_4	انتقال مدیریت و مالکیت تأسیسات آبی و برقابی به بخش‌های خصوصی و تعاونی در چارچوب قانون سیاست‌های اصل ۴۴
S_5	تدوین، تصویب و اجرای قانون جامع آب کشور
S_6	ارتقای مشارکت ذی‌نفعان در فرایند برنامه‌ریزی، اجرا، بهره‌برداری و حفاظت از منابع و تأسیسات آبی با تأکید بر ایجاد و توسعهٔ نهادها و تشکل‌های مردمی
S_7	ارتقا و استقرار ساختار سازمانی بخش آب با رویکرد مدیریت به‌هم‌پیوسته در حوضه‌های آبریز
S_8	ایجاد و توسعهٔ نظام‌های فنی، حقوقی و مبادلهٔ آب در چارچوب کنوانسیون‌های ذی‌ربط بین‌المللی با درنظر گرفتن ظرفیت‌های منابع آبی و آب مجازی در راستای توسعهٔ امنیت آبی کشور
S_9	ارتقا، استقرار و نهادینه کردن نظام بهره‌برداری، حفاظت و نگهداری از منابع و تأسیسات آب کشور
S_{10}	بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب با تأکید بر جایگزینی پساب برای مصارف کشاورزی و فضای سبز و تخصیص منابع باکیفیت برای شرب و بهره‌برداری از منابع نامتعارف به‌ویژه منابع آب شور دریا و دریاچه‌ها
S_{11}	به‌کارگیری روش‌های نوین استحصال آب
S_{12}	ارتقای آگاهی عمومی جهت حفاظت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب
S_{13}	ساماندهی و توسعهٔ بازارهای محلی آب
S_{14}	منظور کردن ظرفیت‌های آبی و ارزش کامل اقتصادی، ذاتی، سیاسی، امنیتی، اجتماعی و زیست‌محیطی آب در طرح‌های کالبدی و آمایش سرزمین

S_{15}	استقرار نظام قیمت‌گذاری آب بر اساس هزینهٔ تمام‌شده با رویکرد ارتقای بهره‌وری و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری
S_{16}	اولویت در توسعه و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی حوضه‌های آبریز مرزی و مشترک و استقرار ساختارهای حقوقی متناسب با آن
S_{17}	توسعهٔ سامانهٔ فراگیر پایش و ارزیابی منابع و مصارف و کنترل فرایند و حفاظت از منابع آب از جنبه‌های کمی و کیفی
S_{18}	تنوع‌بخشی به منابع مالی و تقویت توان مالی با تأکید بر جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی و مشارکت بهره‌برداران در مطالعه، اجرا و بهره‌برداری طرح‌های آبی
S_{19}	ظرفیت‌سازی، آموزش، توسعه و توانمندسازی مدیریت و منابع انسانی در بخش آب
S_{20}	استقرار مدیریت دانش‌محور و به‌کارگیری علوم و فناوری و تحقیقات روز در صنعت آب
S_{21}	استقرار و ارتقای مدیریت دانش در فرایند مدیریت سازه‌ای و غیرسازه‌ای منابع آب
S_{22}	ارتقای نظام آموزش عمومی و تخصصی آب در کشور و گسترش پژوهش‌های کاربردی
S_{23}	استقرار نظام برنامه‌ریزی، توسعه و بهره‌برداری از حوضه‌های آبریز کشور با سازگاری با اقلیم و شرایط حاصل از تغییر اقلیم
S_{24}	ارتقا و استقرار نظام پایش و ارزیابی عملکرد بر اساس برنامهٔ راهبردی بخش آب
S_{25}	استقرار نظام اولویت بندی طرح‌های آبی بر اساس الزامات مدیریت به‌هم‌پیوستهٔ منابع آب و تأکید بر اتمام همزمان و تکمیل چرخهٔ طرح‌های چندمنظوره
S_{26}	توسعهٔ مدیریت خطرپذیری (ریسک) و بحران برای جلوگیری از نقصان در کمیت و کیفیت منابع آب با تأکید بر مدیریت خشکسالی، سیل و تغییرات اقلیمی
S_{27}	توسعه و بهره‌برداری بهینه از ظرفیت‌های آب کشور در راستای استفاده از انرژی برقابی هماهنگ با تأمین نیاز سایر بخش‌های مصرف
S_{28}	توسعهٔ صادرات کالاها و خدمات فنی و مهندسی بخش آب به کشورهای منطقه و جهان
S_{29}	توسعه و تدوین برنامه‌های بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی، زیرزمینی و نامتعارف
S_{30}	تأمین بخشی از آب شیرین مورد نیاز از طریق بازیافت حرارت در نیروگاه‌های حرارتی مردمی
S_{31}	ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی از طریق روش‌هایی نظیر کم‌آبیاری، اصلاح الگو و ترکیب کشت، کاهش تبخیر آب، کشت گلخانه‌ای و به‌ویژه الزامی کردن استفاده از روش‌های نوین آبیاری
S_{32}	پایش و مدیریت أثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب کشور
S_{33}	پایداری و تعادل‌بخشی در عرضه و تقاضای آب با هدف کاهش بیلان منفی سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش شاخص کیفی آب
S_{34}	اصلاح و بهبود ساختار تخصیص منابع آب کشور و ایجاد حسابداری ملی آب با هدف مدیریت تقاضا و ارتقای شاخص کارایی آب
S_{35}	حفظ، احیا و بهره‌برداری پایدار از آثار و سازه‌های تاریخی آبی
S_{36}	تلاش ویژه در راستای دستیابی به دانش و مدیریت تحولات آب‌وهوایی نظیر یونیزاسیون جو، روش نوین باروری ابرها و ... از طریق اجرای طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی خاص
S_{37}	هماهنگی در امر مدیریت مؤثر حفاظت خاک، گیاه و تغذیهٔ منابع آب با اجرای اقدامات برنامه‌ریزی‌شدهٔ آبخیز داری با همکاری سازمان‌های ذی‌ربط
S_{38}	ارتقای نظام مشتری‌مداری و حمایت مناسب از حقوق مشترکان با بهره‌گیری از فناوری‌های جدید و اصلاح فرایندهای موجود

جدول ٤ . خوشه‌های مربوط به راهبردهای بخش آب در روشANP

C_1	ارتقای بهره‌وری و اعمال مدیریت تقاضا
C_2	اصلاح ساختار برنامه‌ریزی منابع آب بر اساس اصول مدیریت به‌هم‌پیوستهٔ منابع آب
C_3	استقرار نظام بهره‌برداری بهینه از منابع آب
C_4	ظرفیت‌سازی نیروی انسانی و آموزش آنها
C_5	استفاده از فناوری‌های نوین در تولید و استحصال آب
C_6	اجرای سیاست‌های اصل ۴۴ و تنوع‌بخشی منابع مالی در سرمایه‌گذاری طرح‌های منابع آب با روش‌های مختلف
C_7	استقرار دیپلماسی آب و اجرای الزامات آن
C_8	در نظر گرفتن ارزش اقتصادی، سیاسی، امنیتی و ذاتی آب
C_9	استقرار سامانه‌های پایش منابع و مصارف و عملکرد
C_{10}	تعادل‌بخشی منابع آب



شکل ۵ . ساختار شبکه‌ای مدل تصمیم‌گیری

نتایج و بحث

روش ANP

پس از تعیین گزینه‌ها و معیارها و تشکیل ساختار شبکه‌ای برای نشان دادن ارتباط بین آنها، ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی با توجه به ارتباطات تعریف‌شده در ساختار شبکه‌ای، ایجاد می‌شوند که درنهایت بر اساس وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی، ابرماتریس وزن‌دهی نشده، تشکیل می‌شود (جدول ۵). همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، در شرایطی که ارتباطی بین معیارها و گزینه‌ها وجود ندارد، درایه‌های ابرماتریس در آنجا صفر است. پس از تشکیل ابرماتریس وزن‌دهی‌نشده، با ضرب آن در وزن‌های به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی خوشه‌ها، ابرماتریس وزن‌دهی‌شده به‌دست می‌آید (جدول ٦). مجموع درایه‌های ستون‌های ماتریس وزن‌دهی شده برابر با یک است. درنهایت با به‌توان‌رساندن ابرماتریس وزن‌دهی‌شده، امتیاز نهایی هریک از گزینه‌ها به‌دست می‌آید. زمانی‌که ماتریسی با سطرهای برابر که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر با یک باشد، به‌دست آید، عملیات به‌توان‌رساندن به پایان می‌رسد. جدول ۷ امتیاز نهایی گزینه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه در اولویت اول قرار دارد. این بدان معناست که اعمال راهبردهای بخش آب تأثیر بسزایی در توسعهٔ مدیریت این حوضهٔ آبریز خواهد داشت.

براساس روش TOPSIS فازی، ماتریس تصمیم‌گیری فازی که شامل نسبت ارجحیت گزینه‌ها با در نظر گرفتن معیارهای مربوط است، تشکیل می‌شود. سپس ماتریس وزن‌دهی‌شده فازی با ضرب وزن فازی معیارها در ماتریس فازی نرمال‌شده به‌دست می‌آید. جدول ۹ فاصلهٔ اقلیدسی هر یک از گزینه‌ها از نقطهٔ ایده‌آل مثبت و منفی و همچنین فاصلهٔ نزدیکی (امتیاز نهایی) آنها را نشان می‌دهد.

روش ترکیبی ANP و TOPSIS فازی

در این روش، ابتدا وزن همهٔ معیارها از روش ANP به‌دست می‌آید که در شکل ٦ نشان داده شده است و سپس این وزن‌ها به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند. وزن‌های فازی معیارها در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۵ . ابرماتریس وزن‌دهی‌نشده

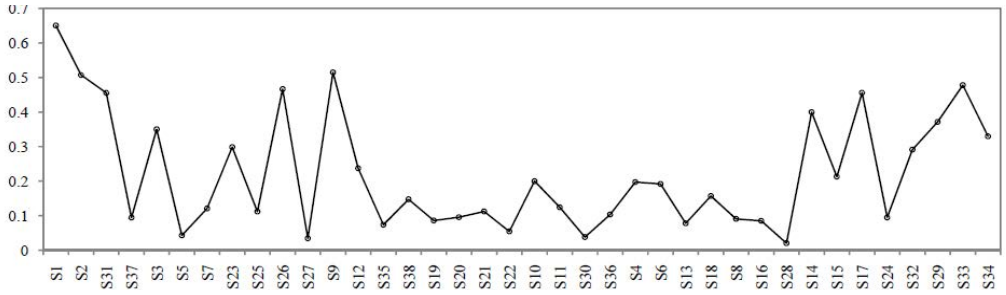
ابر ماتریس وزن دهی نشده			گزینه ها					اجتماعی																							اقتصادی									زیست محیطی					
			گزینه ها					C1				C2							C3				C4				C5				C6				C7			C8		C9			C10		
			اترک	دریاچه نمک	دریاچه ارومیه	سفیدرود	زاینده رود	S1	S2	S31	S37	S3	S5	S7	S23	S25	S26	S27	S9	S12	S35	S38	S19	S20	S21	S22	S10	S11	S30	S36	S4	S6	S13	S18	S8	S16	S28	S14	S15	S17	S24	S32	S29	S33	S34
گزینه ها	گزینه ها	اترک	0	0	0	0	0	0.174	0.166	0.111	0.083	0.2	0.2	0.174	0.143	0.143	0.143	0.125	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.167	0.2	0.154	0.158	0.2	0.071	0.176	0.2	0.133	0.143	0.25	0.357	0.2	0.148	0.158	0.167	0.2	0.1	0.105	0.15	0.2
		دریاچه نمک	0	0	0	0	0	0.217	0.2	0.185	0.167	0.2	0.2	0.217	0.214	0.238	0.238	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.222	0.2	0.231	0.263	0.2	0.215	0.176	0.2	0.267	0.285	0.167	0.071	0.2	0.222	0.211	0.208	0.2	0.25	0.263	0.22	0.2
		دریاچه ارومیه	0	0	0	0	0	0.217	0.233	0.259	0.25	0.2	0.2	0.217	0.25	0.19	0.238	0.125	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.222	0.2	0.231	0.263	0.2	0.357	0.176	0.2	0.2	0.143	0.25	0.429	0.2	0.222	0.211	0.208	0.2	0.25	0.263	0.26	0.2
		سفیدرود	0	0	0	0	0	0.174	0.2	0.222	0.25	0.2	0.2	0.174	0.214	0.238	0.19	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.222	0.2	0.192	0.158	0.2	0.143	0.235	0.2	0.133	0.214	0.167	0.071	0.2	0.222	0.211	0.208	0.2	0.2	0.158	0.19	0.2
		زاینده رود	0	0	0	0	0	0.217	0.2	0.222	0.25	0.2	0.2	0.217	0.179	0.19	0.19	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.167	0.2	0.192	0.158	0.2	0.215	0.235	0.2	0.267	0.214	0.167	0.071	0.2	0.185	0.211	0.208	0.2	0.2	0.211	0.19	0.2
اجتماعی	C1	S1	0.346	0.278	0.227	0.211	0.25	0	1	1	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S2	0.346	0.333	0.318	0.316	0.3	0.539	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.461	0	0	0	0	0	0	0
		S31	0.231	0.278	0.318	0.316	0.3	0.461	0	0	0	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.539	0	0	0	0	0	0	0
		S37	0.077	0.111	0.136	0.158	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C2	S3	0.292	0.219	0.226	0.233	0.2414	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		S5	0.083	0.063	0.065	0.067	0.069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S7	0.167	0.156	0.161	0.133	0.1724	0	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S23	0.167	0.188	0.226	0.2	0.1724	0	0	0	0	0.41	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S25	0.125	0.156	0.129	0.167	0.1379	0	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S26	0.125	0.156	0.161	0.133	0.1379	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S27	0.042	0.063	0.032	0.067	0.069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C3	S9	0.333	0.385	0.333	0.364	0.3636	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S12	0.333	0.385	0.417	0.364	0.3636	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S35	0.111	0.077	0.083	0.091	0.0909	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S38	0.222	0.154	0.167	0.182	0.1818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C4	S19	0.273	0.25	0.25	0.25	0.2727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S20	0.273	0.25	0.25	0.25	0.2727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S21	0.273	0.333	0.333	0.333	0.2727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S22	0.182	0.167	0.167	0.167	0.1818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C5	S10	0.444	0.4	0.353	0.455	0.4167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S11	0.334	0.333	0.294	0.273	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S30	0.111	0.067	0.059	0.091	0.0833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S36	0.111	0.2	0.294	0.182	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
اقتصادی	C6	S4	0.25	0.188	0.231	0.286	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.308	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S6	0.417	0.313	0.385	0.357	0.3125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S13	0.167	0.25	0.231	0.143	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.308	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S18	0.167	0.25	0.154	0.214	0.1875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	C7	S8	0.333	0.5	0.3	0.5	0.5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S16	0.556	0.25	0.6	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S28	0.111	0.25	0.1	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C8	S14	0.571	0.6	0.6	0.6	0.5556	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
		S15	0.429	0.4	0.4	0.4	0.4444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
زیست محیطی	C9	S17	0.5	0.417	0.417	0.455	0.4545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.5	0
		S24	0.25	0.167	0.167	0.182	0.1818	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S32	0.25	0.417	0.417	0.364	0.3636	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0
	C10	S29	0.167	0.294	0.278	0.214	0.2667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.42
		S33	0.334	0.353	0.389	0.357	0.3333	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.539	0	0.58
		S34	0.499	0.353	0.333	0.429	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.461	0	0

جدول ۶ . ابرماتریس وزن‌دهی‌شده

ابر ماتریس وزن دهی شده			گزینه ها					اجتماعی																							اقتصادی									زیست محیطی					
			گزینه ها					C1				C2							C3				C4				C5				C6				C7			C8		C9			C10		
			اترک	دریاچه نمک	دریاچه ارومیه	سفیدرود	زاینده رود	S1	S2	S31	S37	S3	S5	S7	S23	S25	S26	S27	S9	S12	S35	S38	S19	S20	S21	S22	S10	S11	S30	S36	S4	S6	S13	S18	S8	S16	S28	S14	S15	S17	S24	S32	S29	S33	S34
گزینه ها	گزینه ها	اترک	0	0	0	0	0	0.087	0.069	0.056	0.083	0.048	0.1	0.094	0.077	0.143	0.053	0.063	0.012	0.02	0.2	0.2	0.087	0.2	0.09	0.14	0.154	0.101	0.2	0.071	0.176	0.14	0.133	0.077	0.125	0.179	0.2	0.04	0.085	0.117	0.2	0.07	0.057	0.055	0.108
		دریاچه نمک	0	0	0	0	0	0.109	0.082	0.093	0.167	0.048	0.1	0.117	0.115	0.238	0.088	0.125	0.019	0.02	0.2	0.2	0.087	0.2	0.12	0.14	0.231	0.167	0.2	0.215	0.176	0.14	0.267	0.154	0.083	0.036	0.2	0.06	0.113	0.146	0.2	0.175	0.142	0.082	0.108
		دریاچه ارومیه	0	0	0	0	0	0.109	0.096	0.13	0.25	0.048	0.1	0.117	0.135	0.19	0.088	0.063	0.015	0.02	0.2	0.2	0.087	0.2	0.12	0.14	0.231	0.167	0.2	0.357	0.176	0.14	0.2	0.077	0.125	0.214	0.2	0.06	0.113	0.146	0.2	0.175	0.142	0.095	0.108
		سفیدرود	0	0	0	0	0	0.087	0.082	0.111	0.25	0.048	0.1	0.094	0.115	0.238	0.07	0.125	0.015	0.02	0.2	0.2	0.087	0.2	0.12	0.14	0.192	0.101	0.2	0.143	0.235	0.14	0.133	0.115	0.083	0.036	0.2	0.06	0.113	0.146	0.2	0.14	0.085	0.068	0.108
		زاینده رود	0	0	0	0	0	0.109	0.082	0.111	0.25	0.048	0.1	0.117	0.096	0.19	0.07	0.125	0.015	0.02	0.2	0.2	0.087	0.2	0.09	0.14	0.192	0.101	0.2	0.215	0.235	0.14	0.267	0.115	0.083	0.036	0.2	0.05	0.113	0.146	0.2	0.14	0.113	0.068	0.108
اجتماعی	C1	S1	0.0416	0.035	0.038	0.046	0.058	0	0.412	0.5	0	0.067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S2	0.05	0.053	0.053	0.056	0.058	0.269	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0
		S31	0.05	0.053	0.053	0.046	0.038	0.231	0	0	0	0.094	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0
		S37	0.025	0.026	0.023	0.019	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C2	S3	0.0345	0.033	0.032	0.031	0.042	0	0	0	0	0	0.429	0.462	0	0	0	0	0	0	0	0	0.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0	0
		S5	0.0099	0.01	0.009	0.009	0.012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S7	0.0246	0.019	0.023	0.022	0.024	0	0	0	0	0.061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S23	0.0246	0.029	0.032	0.027	0.024	0	0	0	0	0.085	0	0	0	0	0.316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S25	0.0197	0.024	0.018	0.022	0.018	0	0	0	0	0.061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S26	0.0197	0.019	0.023	0.022	0.018	0	0	0	0	0	0	0	0.462	0	0	0	0.461	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S27	0.0099	0.01	0.005	0.009	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C3	S9	0.052	0.052	0.048	0.055	0.048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.316	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S12	0.052	0.052	0.06	0.055	0.048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S35	0.013	0.013	0.012	0.011	0.016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S38	0.026	0.026	0.024	0.022	0.032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.308	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C4	S19	0.0195	0.018	0.018	0.018	0.019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S20	0.0195	0.018	0.018	0.018	0.019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.094	0	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S21	0.0195	0.024	0.024	0.024	0.019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.094	0	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S22	0.013	0.012	0.012	0.012	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C5	S10	0.0397	0.043	0.034	0.038	0.042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S11	0.0238	0.026	0.028	0.032	0.032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S30	0.0079	0.009	0.006	0.006	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S36	0.0238	0.017	0.028	0.019	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
اقتصادی	C6	S4	0.0179	0.02	0.016	0.013	0.018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S6	0.0223	0.026	0.027	0.022	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.089	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S13	0.0179	0.01	0.016	0.018	0.012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S18	0.0134	0.015	0.011	0.018	0.012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.231	0	0	0	0	0	0
	C7	S8	0.0119	0.012	0.007	0.012	0.008	0	0	0	0	0	0.071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S16	0.006	0.006	0.014	0.006	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S28	0.006	0.006	0.002	0.006	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C8	S14	0.0397	0.043	0.043	0.043	0.041	0	0.177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.231	0	0	0	0	0.158	0
		S15	0.0318	0.029	0.029	0.029	0.031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.231	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0
زیست محیطی	C9	S17	0.0325	0.032	0.03	0.03	0.036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.231	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.079	0
		S24	0.013	0.013	0.012	0.012	0.018	0	0	0	0	0.104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S32	0.026	0.026	0.03	0.03	0.018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0.079	0
	C10	S29	0.0381	0.031	0.04	0.042	0.024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.316	0.192
		S33	0.0476	0.051	0.056	0.05	0.048	0	0	0	0	0.207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.249	0	0.269
		S34	0.0572	0.061	0.048	0.05	0.071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.213	0	0

جدول ۷ . امتیاز نهایی گزینه‌ها

گزینه‌ها	دریاچهٔ ارومیه	دریاچهٔ نمک	زاینده‌رود	سفیدرود	اترک
روش ANP	۰/۲۲۶	۰/۲۱۴	۰/۲۰۳	۰/۱۹۷	۰/۱۵۹
امتیاز نهایی	۱	۰/۹۴۹	۰/۸۹۹	۰/۸۷۲	۰/۷۰۵



شکل ٦ . وزن‌های به‌دست‌آمده از روش ANP

جدول ۸ . تبدیل وزن‌های به‌دست‌آمده از روش ANP به عبارت‌های بیانی

خوشه‌ها	C_1					C_2									C_3					C_4				
زیرمعیارها	S_1	S_2	S_{31}	S_{37}	S_3	S_5	S_7	S_{23}	S_{25}	S_{26}	S_{27}	S_9	S_{12}	S_{35}	S_{38}	S_{19}	S_{20}	S_{21}	S_{22}
عبارت بیانی	VH	H	MH	VL	M	VL	L	M	L	MH	VL	H	ML	VL	L	VL	VL	L	VL
خوشه‌ها	C_5				C_6					C_7			C_8				C_9				C_{10}			
زیرمعیارها	S_{10}	S_{11}	S_{30}	S_{36}	S_4	S_6	S_{13}	S_{18}	S_8	S_{16}	S_{28}	S_{14}	S_{15}	S_{17}	S_{24}	S_{32}	S_{29}	S_{33}	S_{34}
عبارت بیانی	L	L	VL	VL	L	L	VL	L	VL	VL	VL	MH	ML	MH	VL	M	M	H	M

جدول ۹ . امتیاز نهایی گزینه بر اساس روش ترکیبی ANP و TOPSIS فازی

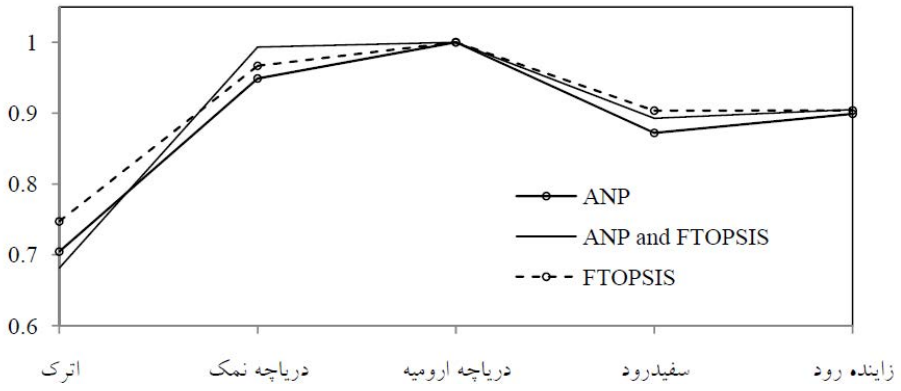
حوضهٔ آبریز	d_i^+	d_i^-	CC_i	امتیاز نهایی
دریاچهٔ ارومیه	۲۸/۱۹۱	۱۰/۹۵۵	۰/۲۷۳	۱
دریاچهٔ نمک	۲۹/۳۸۱	۱۰/۹۲۷	۰/۲۷۱	۰/۹۹۳
زاینده‌رود	۳۰/۲۱۲	۹/۹۰۸	۰/۲٤۷	۰/۹۰۵
سفیدرود	۳۰/۳۱۳	۹/۷٦۵	۰/۲٤٤	۰/۸۹۳
اترک	۳۲/۳۵۲	۷/۳۸۷	۰/۱۸٦	۰/٦۸۱

از طرف دیگر، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با روش TOPSIS فازی نیز اجرا شد که در این حالت، تصمیم‌گیرنده وزن معیارها را تعیین کرد. در این راستا، پرسشنامه‌هایی برای تعیین وزن معیارها تهیه و توسط تصمیم‌گیرنده‌ها تکمیل شد. شایان ذکر است که در این حالت، هیچ‌گونه رابطهٔ شبکه‌ای بین معیارها تعریف نشده و وزن معیارها فقط بر اساس تجربیات و نظر کارشناسان مشخص شده است. سپس با استفاده از این وزن‌ها و نسبت ارجحیت‌های ماتریس تصمیم‌گیری، امتیاز گزینه‌ها بر اساس روش TOPSIS فازی که جزئیات روش در مرجع ۱ توضیح داده شده است، محاسبه شد که در بخش ٤-۲ نتایج به‌دست‌آمده از این روش و همچنین مقایسهٔ نتایج روش‌های مختلف نشان داده شده است.

مقایسهٔ نتایج

همان‌طورکه اشاره شد، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با استفاده از روش ANP و روش ترکیبی TOPSIS-ANP فازی و روش TOPSIS فازی اجرا شده است. در شکل ۷، نتایج به‌دست آمده مقایسه شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف، حوضهٔ آبریز ارومیه در رتبهٔ اول و حوضهٔ آبریز اترک در رتبهٔ آخر قرار دارند. این بدان معناست که حوضهٔ آبریز ارومیه برای اعمال راهبردهای بخش آب در اولویت قرار دارد و به‌عبارتی بحرانی‌ترین حوضه است. درنتیجه، اعمال راهبردهای آب در این حوضهٔ آبریز از دیگر حوضه‌ها ضروری‌تر است. نتایج روش ترکیبی در مقایسه با روش TOPSIS فازی نشان می‌دهد که تعیین وزن راهبردها با استفاده از روش ANP، اختلاف بین گزینه‌ها را بهتر مدل می‌کند. به‌طوری‌که گزینه‌های سفیدرود و زاینده‌رود در روش TOPSIS فازی دارای امتیاز برابرند، درحالی‌که در روش ترکیبی، زاینده‌رود، امتیاز بیشتری از سفیدرود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که در روش TOPSIS فازی که وزن معیارها فقط براساس نظر تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌شود، تفاوت امتیاز برخی گزینه‌ها علی‌رغم در نظر گرفتن معیارهای مختلف، به‌خوبی نشان داده نمی‌شود و این به دلیل در نظرگرفتن روابط شبکه‌ای بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری است. درصورتی‌که تعیین وزن معیارها با استفاده از روش ANP و با درنظر گرفتن ارتباطات شبکه‌ای بین معیارها، به نتایج دقیق‌تری در تصمیم‌گیری منجر می‌شود و تفاوت امتیاز گزینه‌ها را بهتر نشان می‌دهد.



شکل ۷ . اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با استفاده از روش‌های مختلف

نتیجه‌گیری

آب از محورهای اصلی توسعهٔ پایدار و رکن اصلی آمایش سرزمین است. راهبردهای توسعهٔ بلندمدت منابع آب کشور، راهنمای مناسبی برای تدوین برنامه‌های مدیریت حوضه‌های آبریز کشور است و در عین حال با ایجاد هم‌پیوندی در عرصه‌های مدیریت فرابخشی آب، موجب بهره‌برداری بهینه از منابع آب کشور خواهد شد. از جمله مسائل مهم در این زمینه، بررسی حوضه‌های آبریز کشور با درنظرگرفتن راهبردهای مختلف بخش آب و شاخص‌های اصلی توسعهٔ منابع آب کشور است. با توجه به اهمیت ارزیابی تأثیر راهبردها و شاخص‌های مختلف بخش آب در مدیریت حوضه‌های آبریز و همچنین ارتباط و وابستگی پیچیدهٔ معیارها و زیرمعیارهای مختلف در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، از روش ANP و همچنین از روش ترکیبی ANP و TOSIS فازی در ارزیابی حوضه‌های آبریز استفاده شده است. مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده از دو روش بیان‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که اولویت‌بندی گزینه‌ها در هر دو روش یکسان است. در هر دو روش، حوضهٔ آبریز ارومیه دارای بیشترین امتیاز و حوضهٔ آبریز اترک دارای کمترین امتیاز است. این بدان معناست که حوضهٔ آبریز ارومیه برای اعمال راهبردهای بخش آب در اولویت قرار دارد و به‌عبارتی بحرانی‌ترین حوضه است. درنتیجه اعمال راهبردهای آب در این حوضهٔ آبریز، از دیگر حوضه‌های آبریز ضروری‌تر است.

منابع

۱. رضوی طوسی س. ل.، محمدولی سامانی ج. و کوره‌پزان دزفولی ا (۱۳۸٦). " اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی". *تحقیقات منابع آب ایران*. ۲ (۳): ۹-۱.

۲. رضوی طوسی س. ل.، محمدولی سامانی ج. و کوره‌پزان دزفولی ا. (۱۳۹۰). "مقایسهٔ روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای گروهی فازی در اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب". *تحقیقات منابع آب ایران*. ۷ (۳): ۱۲-۱.

3. Boran S, Goztepe K and Yavuz E (2007) A study on election of personnel based on performance measurement by using Analytic Network Process (ANP). IJCSNS IJ Computer Science and Network Security. 8: 333- 338.

4. Chen TC (2000) Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy sets and systems. 114: 1- 9.

5. Connell EO, Bathurst J, Kilsby C, Parkin G, Quinn P, Younger P, Anderson S, and Riley M (2000) Integrating mesoscale catchments experiments with modeling: The potential for sustainable water resources management. Fifth IHP/IAHS George Kovacs Colloquium. HELP. International Hydrological Programme. UNESCO. Paris.

6. Huang JJ, Tzeng GH and Ong CS (2005) Multidimensional data in multidimensional scaling using the analytic network process. Pattern Recogn Lett. 26:755-767.

7. Karnib A (2004) An approach to elaborate priority preorders of water resources projects based on multi-criteria evaluation and fuzzy sets analysis. Water Resources Management. 18: 13-33.

8. Lee JW and Kim SH (2000) Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. Computers and Operations Research. 27: 367-382.

9. Liu H and Kong F (2005) A new MADM algorithm based on fuzzy subjective and objective integrated weights. IJ Information and System Sciences. 1: 420-427.

10. Niemiraa MP and Saaty TL (2004) An analytic network process model for financial-crisis forecasting. IJ Forecasting. 20: 573-587.

11. Raj PA (1995) Multicriteria methods in river basin planning- A case study. Water Science and Technology. 31:61-272.

12. Raj AP and Kumar ND (1998) Ranking multi-criterion river basin planning alternatives using fuzzy numbers. Fuzzy Sets and Systems. 100: 89-99.

13. Raju SK, Duckstien L and Arondel C (2000) Multicreterion Analysis for Sustainable Water Resources planning: A Case Study in Spain. Water Resources Management. 14: 435-456.

14. Razavi Toosi SL and Samani JMV (2012) Evaluating water transfer projects using Analytic Network Process (ANP). Water resources Management. 26: 1999- 2014.

15. Razavi Toosi SL, Samani JMV and Koorehpazan Dezfuli A (2009) Ranking water transfer projects using fuzzy methods. Proceedings of Institution Civil Engineers. Water Management. 4(163): 189-197.

16. Saaty TL (1996) Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications. Pittsburgh.

17. Saaty TL (2005) Theory and applications of the Analytic Network Process. Pittsburgh, PA: RWS Publications. 4922 Ellsworth Avenue. Pittsburgh. PA 15213.

18. Saaty TL (2006) Applications of Analytic Network Process in entertainment. Operations Research. 1: 41-55.

19. Saaty TL (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. Services Sciences. 1(1): 83-98.

20. Saaty TL and Vargas LG (2006) Decision making with the Analytic Network Process. Economic, Political, Social and Technological. Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks. Springer science and Business medi, LLC.

21. Simonovic SP and Prodanovic P (2002) Comparison of Fuzzy Ranking Methods for Implementation in Water resources decision-making. Canadaian Journal of Civil Engineering. 29: 692-701.

22. Srdjevic B, Medeiros YDP and Faria AS (2004) An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios. Water Resources Management. 18: 35-54.

23. Srdjevic B and Medeiros YDP (2008) Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans. Water Resour Management. 22: 877-894.

24. Wolfslehner B, Vacik H and Lexer MJ (2005) Application of the analytic network process in multicriteria analysis of sustainable forest management. Forest Ecology and Management. 207: 157-170.

25. Wu WW and Lee YT (2007) Selecting knowledge management strategies by using the analytic network process. Expert Syst. Appl. 32: 841-847.

26. Yaccob AMB (2007) Management of Melana watershed using multicriteria decision making approaches. University Teknologi Malaysia, Faculty of Civil Engineering, Master of engineering thesis.

27. Zarghaami M (2005) Uncertain criteria in ranking inter- basin water transfer projects in Iran. 73rd Annual Meeting of ICOLD. Tehran. IRAN. Paper No.: 180- S1.

28. 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. Water International. 32(2): 280-293.

29. Zarghami M, Abrishamchi A and Ardakanian R (2008) Multi-criteria Decision Making for Integrated Urban Water Management. Water Resource Management. 22: 1017-1029.

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