



A New Fuzzy Analytical Network Process Method for Watershed Ranking

S. L. Razavi Toosi^{1*}, J. M. V. Samani²
and H. Fahmi³

Abstract

Water and soil resources are most important for sustainability development. A watershed is not only simply the hydrological unit but also a social, economical, and environmental deivision which plays crucial role in development of the country. Based on the national long term goals in water industry, different strategies are determined for the integrated water resources management in the national level. One of the most important problems in water management planning, especially in water allocation, is ranking the watersheds with respect to this various complexly related water strategies. A new method is proposed in this study based on ANP and fuzzy TOPSIS methods. This model is used to evaluate 5 critical watersheds in Iran named Urmia Lake, Atrak, Sefidrood, Namak, and Zayandehroud. In this decision making model, 38 water strategies (S_1, S_2, \dots, S_{38}) are defined as sub criteria in 10 clusters (C_1, C_2, \dots, C_{10}). These clusters are categorized according to economic, social, and environmental criteria. Also, the fuzzy arithmetic is applied to overcome the uncertainty in decision makers' judgments. The important advantage of the proposed method is using triangular fuzzy numbers in all steps of the algorithm. The results are compared with ANP method to validate the proposed model. It is indicates that among different watersheds, Urmia Lake and Atrak show the highest and the lowest scores, respectively.

Keywords: Watersheds, Water strategies, FANP

Received: July 1, 2014

Accepted: September 22, 2014

اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با استفاده از روش جدید فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی

سیده لیلا رضوی طوسی^{۱*}، جمال محمد ولی سامانی^۲
و هدایت فهمی^۳

چکیده

منابع آب و خاک هر کشور از مهمترین منابع و زیربنای توسعه پایدار می‌باشند. حوضه آبریز نه تنها یک بخش هیدرولوژیکی است بلکه یک بخش اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیز می‌باشد که نقش مهمی در توسعه پایدار یک کشور دارد. در این راستا و بر اساس اهداف سند چشم‌انداز کشور در صنعت آب، راهبردهای مختلف مدیریت جامع نظام آب کشور تدوین شده‌اند. یکی از مسائل مهم برنامه جامع آب به‌ویژه در بخش تخصیص آب، مدیریت حوضه‌های آبریز و اولویت‌بندی آنها بر اساس راهبردهای بخش آب می‌باشد که با توجه به تعدد و تنوع راهبردها و همچنین ارتباطات پیچیده بین آنها، انجام این امر بسیار دشوار است. از جمله راهکارهای مؤثر در این زمینه، استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی می‌باشد. بنابراین، با توجه به اهمیت مسأله اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بحرانی کشور در بخش تخصیص آب در برنامه کلان ملی، در این تحقیق یک الگوریتم جدید بر اساس روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی و روش TOPSIS فازی ارائه شده است که شامل استفاده از اعداد فازی مثلثی در الگوریتم تصمیم‌گیری می‌باشد. بر این اساس، ۳۸ راهبرد بخش آب (S_1, S_2, \dots, S_{38}) به‌عنوان زیر معیار در ۱۰ بخش (C_1, C_2, \dots, C_{10}) که به آنها خوشه گفته می‌شود، تقسیم‌بندی شدند. خوشه‌ها نیز زیر مجموعه‌ای از معیارهای اصلی (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) می‌باشند. گزینه‌های مورد بررسی در این مقاله عبارتند از: حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، اترک، سفیدرود، دریاچه نمک و زاینده‌رود. از آنجا که ورودی‌های مدل شامل عبارات بیانی تصمیم‌گیرنده می‌باشد، لذا استفاده از ریاضیات فازی امکان مدل کردن عدم قطعیت‌ها را فراهم می‌کند. یکی از مزایای مهم الگوریتم پیشنهادی جدید، استفاده از اعداد فازی مثلثی در تمام مراحل تصمیم‌گیری است. برای بررسی نحوه عملکرد مدل ارائه شده، نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی با نتایج بدست آمده از روش ANP مقایسه شدند. بر این اساس حوضه آبریز دریاچه ارومیه در رتبه اول و حوضه آبریز اترک در رتبه آخر قرار دارد. همچنین تحلیل حساسیت بر روی وزن خوشه‌ها انجام و چگونگی تأثیر آن در اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بررسی شد.

کلمات کلیدی: حوضه آبریز، راهبردهای بخش آب، روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۰ تیر ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۳۱ شهریور ۱۳۹۳

1- Postdoctoral Researcher, Department of Water Structures, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Water Structures, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.

3- Senior Expert, Ministry of Energy, Water and Wastewater Deputy, Iran

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی فرادکتری، گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- وزارت نیرو، معاونت آب و آفا

*- نویسنده مسئول

نیز در ایران انجام شده است که عبارتند از: معرفی درخت معیارها که در آن معیارهای اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب تعیین شده‌اند (Zarghaami, 2005)، ارزیابی پروژه‌های حوضه زاینده‌رود با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری فازی (Zarghaami, 2007)، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت آب شهری (Zarghami et al., 2008)، استفاده از روش AHP در انتخاب سیستم آبیاری بهینه (Montazar and Behbahani, 2007)، ارزیابی طرح‌های مدیریت آب در برزیل با استفاده از روش AHP فازی (Srdjevic and Medeiros, 2008)، ارائه یک روش جدید براساس ترکیب عملگر OWA و فازی در زمینه پروژه‌های آب بین‌حوضه‌ای (Zarghami et al., 2009)، اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ با روش‌های MADM فازی (Razavi Toosi et al., 2009)، ارزیابی سیستم‌های آبیاری با یک مدل سلسله‌مراتبی (Montazar and Zadbagher, 2010)، بررسی محل کارخانه فرآوری مواد معدنی با استفاده از روش AHP (Safari et al., 2010)، تحلیل تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای با روش TOPSIS فازی در سیستم مخازن کارون (Afshar et al., 2011)، استفاده از روش AHP در انتخاب بهترین محل سد خاکی (Minatour et al., 2013) و اولویت‌بندی طرح‌های انتقال آب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی فازی مانند مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم فازی، TOPSIS فازی و روش بونیسون (رضوی و همکاران، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰). در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری به‌علت وجود تعاملات و ارتباطات بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی (مانند روش AHP) و یا استفاده از روش‌های قدیمی MADM در ارزیابی گزینه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. برای حل این مشکل، در سال ۱۹۹۶ روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) توسط Saaty (1996) ارائه شده است. این روش در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری که شامل اولویت‌بندی گزینه‌ها می‌باشد، کاربرد دارد که برخی از تحقیقات انجام شده در این زمینه عبارتند از: اولویت‌بندی پروژه‌های سیستم‌های اطلاعاتی (Lee and Kim, 2000)، پیش‌بینی بحران اقتصادی (Niemiraa and Saaty, 2004)، اولویت‌بندی استراتژی‌های مدیریت دانش (Wu and Lee, 2007)، ارزیابی پارک Disney (Saaty, 2006)، مدیریت محیط زیست (Wang et al., 2011; Ostrega et al., 2011) و اولویت‌بندی طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ با استفاده از روش ANP (Razavi Toosi and Samani, 2012). همچنین مطالعاتی در زمینه توسعه روش ANP فازی در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی نیز انجام شده است که برخی از آنها عبارتند از: انتخاب محل گلخانه در ایران (Rezaeiniya et al., 2014)، ارزیابی آمادگی دولت

آب به‌عنوان یکی از عناصر توسعه پایدار بوده که موفقیت در حفظ این منبع ارزشمند مستلزم انتخاب رویکردی جامع و مناسب در مدیریت حوضه آبریز با در نظر داشتن راهبردهای تأثیرگذار و روابط متقابل بین آنهاست. مدیریت حوضه آبریز شامل انجام مجموعه‌ای از راهکارهای مدیریت منابع آب با هدف توسعه پایدار می‌باشد که مدیریت کارآمد آن مستلزم تدوین راهبردهای مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای ارزیابی حوضه‌های آبریز می‌باشد. ایران با میزان بارش سالانه ۲۵۰ میلیمتر که در حدود ۳۰ درصد از متوسط بارش سالانه جهان است، به‌عنوان یک کشور خشک و نیمه خشک در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه تأمین و تخصیص آب برای مصارف مختلف در حوضه‌های آبریز کشور همواره یکی از دغدغه‌های مهم مدیریتی می‌باشد. در این راستا، راهبردهای بخش آب کشور بر اساس نگرشی جامع تدوین شده است. از آنجا که تخصیص آب به حوضه‌های آبریز در مدیریت کلان ملی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد، در نتیجه بررسی راهبردهای تدوین شده در بخش آب و چگونگی تأثیر آنها در حوضه‌های آبریز مختلف ضروری است. از طرفی با توجه به روابط پیچیده بین راهبردهای بخش آب در حوضه‌های آبریز، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای (MADM^۱) به‌عنوان ابزاری کارآمد در این زمینه مطرح می‌شود. تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از روش‌های مختلف MADM در مدیریت منابع آب انجام شده است که برخی از آنها عبارتند از: استفاده از روش ELECTREE II^۲ در طرح‌های منابع آب (Raj, 1995)، به‌کارگیری روش مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم فازی در اولویت‌بندی طرح‌های حوضه آبریز Krishna در هند (Raj and Kumar, 1998)، اولویت‌بندی پروژه‌های منابع آب در کشور اسپانیا با استفاده از ۵ روش مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره (Raju et al., 2000)، استفاده از روش‌های MADM به‌عنوان یک روش برای توسعه پایدار منابع آب (Conell et al., 2000)، ارائه روش FCP^۳ در ارزیابی گزینه‌های مختلف در تصمیم‌گیری پروژه‌های منابع آب (Simonovic and Prodanovic, 2002)، ارزیابی گزینه‌های مدیریت آب با روش TOPSIS^۴ و CP^۵ (Srdjevic et al., 2004)، ارائه روشی بر اساس ارزیابی چندمعیاره و مجموعه‌های فازی در اولویت‌بندی پروژه‌های منابع آب (Karnib, 2004)، استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در تأمین آب شهری (Abrishamchi et al., 2005)، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در Melana با استفاده از روش‌های FCP و AHP (Yacob, 2007)، استفاده از روش‌های MADM در اولویت‌بندی گزینه‌های مدیریت حوضه آبریز شهری (Chung et al., 2011). در این زمینه تحقیقاتی

الکترونیکی با روش ترکیبی ANP فازی (Tavana et al., 2013)، ارزیابی مدیریت کیفیت پروژه (Chang and Ishii, 2013)، ارزیابی توربین‌های آبی و بررسی عملکرد توربین‌ها با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف (Lee et al., 2012)، بررسی گزینه‌های ابزار ماشینی با استفاده از روش برش آلفا و ANP فازی (Ayağ and Özdemir, 2012)، انتخاب منطقه کار برای دانشجویان مهندسی صنایع (Rouyendegh and Can, 2012) و ارزیابی عملکرد مزرعه بادی (Kang et al., 2011).

در برنامه‌ریزی کلان ملی در بخش تخصیص منابع حوضه‌های آبریز، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بخش مهمی از برنامه جامع آب می‌باشد که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که بررسی راهبردهای مختلف بخش آب با هدف توسعه بلندمدت در سطح برنامه‌ریزی کلان برای اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بسیار حائز اهمیت بوده و نقش به‌سزایی در مدیریت مناسب حوضه‌های آبریز دارد، در این تحقیق، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بحرانی کشور بر اساس راهبردهای بخش آب (که با توجه به سند ملی توسعه آب و ایجاد نظام جامع و مدیریت یکپارچه آب در سطح کلان توسط وزارت نیرو تدوین شده‌اند) با استفاده از الگوریتم جدیدی بر مبنای روش شبکه‌ای ANP^۵ انجام شده است. با توجه به اینکه تصمیم‌گیری در شرایط وجود چندین معیار که برخی از آنها در تضاد با یکدیگرند و همچنین وجود روابط پیچیده بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، کار بسیار مشکلی است لذا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای فازی به امر تصمیم‌گیری و مدیریت کمک شایانی می‌کند. در مقاله (Razavi Toosi and Samani, 2012)، پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از روش ANP بررسی شده‌اند و از ریاضیات فازی در الگوریتم آن استفاده نشده است. نوآوری الگوریتم ارائه شده نسبت به الگوریتم‌های دیگر ANP فازی شامل استفاده از اعداد فازی مثلثی در ابرماتریس‌ها و همچنین ترکیب با روش TOPSIS فازی می‌باشد که در ادامه جزئیات آن توضیح داده می‌شود. همچنین تحلیل حساسیت بر روی وزن خوشه‌ها انجام شده است. برای بررسی نتایج به دست آمده از الگوریتم جدید FANP^۶، نتایج به دست آمده با نتایج روش ANP مقایسه شده است.

۲- روش جدید ANP فازی

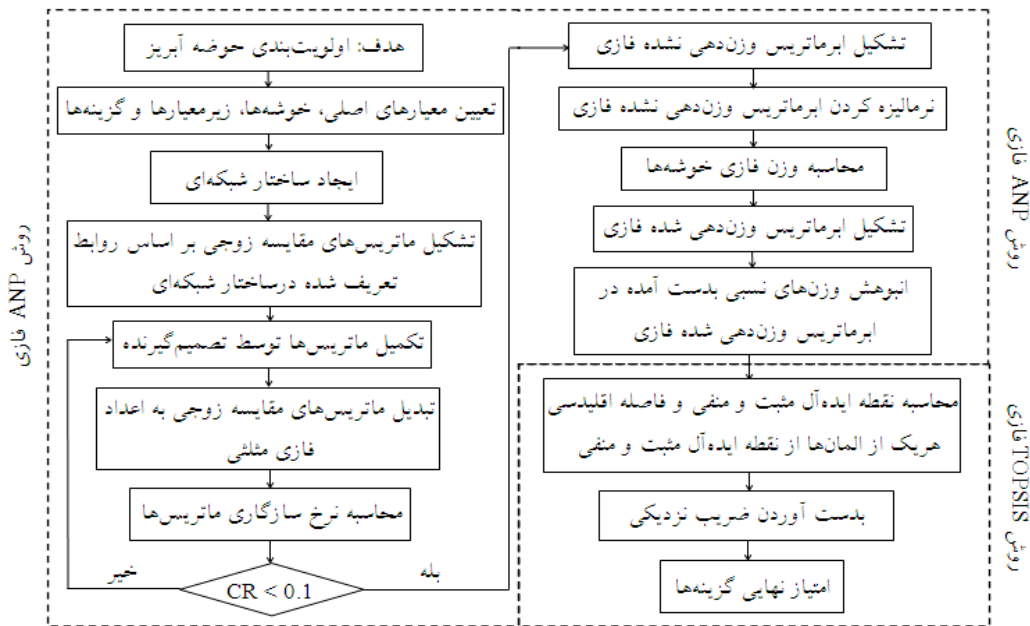
روش ANP توسعه یافته روش AHP می‌باشد که اولین بار توسط Saaty ارائه شد و یک گام جدید و اساسی را در مسائل تصمیم‌گیری ایجاد کرد (Saaty, 1996). یکی از معایب روش‌های قدیمی تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله روش AHP، عدم در نظر گرفتن

ارتباطات موجود بین معیارها می‌باشد. در روش AHP به دلیل ساختار سلسله مراتبی، امکان ارتباط بین معیارهای سطوح پایین‌تر با معیارهای سطوح بالاتر وجود ندارد. بنابراین یک ساختار سلسله مراتبی، برای تصمیم‌گیری سیستم‌های پیچیده مناسب نمی‌باشد (Saaty and Vargas, 2006). در روش ANP به جای استفاده از ساختار سلسله مراتبی، از یک ساختار شبکه‌ای استفاده می‌شود که در این ساختار، معیارهای سطوح پایین‌تر نیز می‌توانند در معیارهای سطوح بالاتر و معیارهای همان سطوح تأثیرگذار باشند (Boran et al., 2008). از طرف دیگر به دلیل استفاده از ریاضیات و اعداد کلاسیک، این روش قادر به مدل کردن عدم قطعیت‌های موجود در مسائل تصمیم‌گیری نمی‌باشد. در سال ۱۹۶۵ روشی بر پایه روش مجموعه‌های فازی برای غلبه بر عدم قطعیت ارائه شد (Zadeh, 1965). از آنجا که در اکثر مسائل تصمیم‌گیری با عدم قطعیت مواجه هستیم، لذا ارائه یک روش ANP بر مبنای تئوری فازی می‌تواند در مدل کردن عدم قطعیت مفید باشد. در این تحقیق، یک الگوریتم جدید ترکیبی بر اساس روش ANP فازی (شکل ۱) ارائه شده است که مراحل آن به صورت زیر می‌باشد:

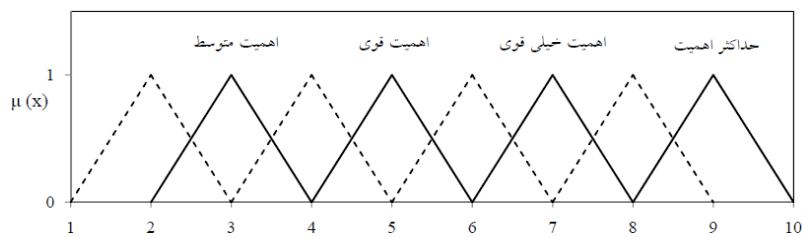
مرحله ۱: در این مرحله، ابتدا ساختار شبکه‌ای و روابط بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری که شامل هدف، معیارها، خوشه‌ها، زیرمعیارها و گزینه‌ها می‌باشند، ایجاد شده و سپس ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل و توسط تصمیم‌گیرنده تکمیل می‌شوند. عبارت‌های بیانی بر اساس جدول ۱ با توجه به روش مورد استفاده، به اعداد فازی مثلثی یا اعداد کلاسیک تبدیل می‌شوند. شکل ۲ تابع عضویت اعداد فازی مثلثی را نشان می‌دهد. اگر مسأله شامل n گزینه $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ باشد، ماتریس مقایسه زوجی فازی $(\tilde{P}_{n \times n})$ به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\tilde{P} = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} (1,1,1) & (a_{12}, b_{12}, c_{12}) & \dots & (a_{1n}, b_{1n}, c_{1n}) \\ (\frac{1}{c_{12}}, \frac{1}{b_{12}}, \frac{1}{a_{12}}) & (1,1,1) & \dots & (a_{2n}, b_{2n}, c_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\frac{1}{c_{1n}}, \frac{1}{b_{1n}}, \frac{1}{a_{1n}}) & (\frac{1}{c_{2n}}, \frac{1}{b_{2n}}, \frac{1}{a_{2n}}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

این ماتریس شامل اعداد فازی مثلثی $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ است که نشان‌دهنده نسبت ارجحیت گزینه‌ها با توجه به یک معیار مشخص می‌باشد. این ماتریس‌ها برای معیارها، خوشه‌ها و زیرمعیارهایی که در ساختار شبکه‌ای با یکدیگر در ارتباطند، تشکیل می‌شود. در این روش نیز مانند روش AHP، باید مقدار نرخ سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی برای بررسی سازگار بودن سیستم کمتر از ۰/۱ باشد.



شکل ۱- الگوریتم روش ANP فازی ترکیبی جدید



شکل ۲- تابع عضویت اعداد فازی مثلثی

$$w_k^s = \frac{(\prod_{i=1}^n a_{kj}^s)^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{i=1}^n a_{ij}^s)^{1/n}}, \quad (3)$$

$$s \in \{l, m, u\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n$$

مرحله ۳: با استفاده از وزن‌های بدست آمده از مرحله قبل، ابرماتریس وزن‌دهی نشده فازی تشکیل می‌شود. ساختار یک ابرماتریس در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل، C_n نشان‌دهنده n آمین خوشه Y ، e_{mm} بیانگر m آمین المان در n آمین خوشه و \tilde{r}_{ij} وزن نسبی تأثیر المان‌های مقایسه شده در Z آمین و i آمین خوشه می‌باشند. همچنین اگر بین Z آمین و i آمین خوشه در ساختار شبکه‌ای، ارتباطی وجود نداشته باشد، \tilde{r}_{ij} صفر می‌باشد (Yang and Tzeng, 2011).

$$\tilde{R} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ e_{11}, e_{1m} & e_{21}, e_{2m} & \dots & e_{n1}, e_{nm} \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \dots & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{n1} & \tilde{r}_{n2} & \dots & \tilde{r}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad n \times n$$

شکل ۳- ساختار کلی ابرماتریس

جدول ۱- مقیاس‌های ارجحیت برای مقایسه‌های زوجی

مقادیر عددی	عبارات بیانی	اعداد فازی مثلثی
۱	اهمیت برابر	(۱،۱،۱)
۳	اهمیت متوسط	(۲،۳،۴)
۵	اهمیت قوی	(۴،۵،۶)
۷	اهمیت خیلی قوی	(۶،۷،۸)
۹	حداکثر اهمیت	(۸،۹،۱۰)
$x=۲, ۴, ۶, ۸$	اهمیت‌های بین حالت‌های فوق	$(x-1, x, x+1)$

مرحله ۲: در این مرحله، وزن‌های نسبی از ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی بدست می‌آیند. اگر $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^l, b_{ij}^m, c_{ij}^u)$ نشان‌دهنده ارجحیت بین معیارها یا زیرمعیارهای مشخص باشد، وزن نسبی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Tuzkaya et al., 2009):

$$\tilde{w}_k = (w_k^l, w_k^m, w_k^u) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

که:

بحرانی کشور می‌باشد. حوضه‌های آبریز مورد بررسی عبارتند از حوضه آبریز ارومیه، دریاچه نمک، اترک، سفیدرود و زاینده‌رود که موقعیت آنها در شکل ۴ نشان داده شده است.

۳-۱- ایجاد شبکه

این مرحله شامل تشکیل ساختار شبکه‌ای می‌باشد. بنابراین ابتدا باید سطوح مختلف تصمیم‌گیری شامل هدف، معیارهای اصلی، خوشه‌ها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تعیین شوند. هدف، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بحرانی کشور و معیارهای اصلی شامل معیار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌باشند. تعداد ۳۸ راهبرد بخش آب (S_1, S_2, \dots, S_{38}) به‌عنوان زیرمعیار در ۱۰ خوشه (C_1, C_2, \dots, C_{10}) تقسیم‌بندی شده‌اند. گزینه‌ها شامل ۵ حوضه آبریز کشور می‌باشند که عبارتند از حوضه آبریز ارومیه، دریاچه نمک، اترک، سفیدرود و زاینده‌رود. خوشه‌ها و راهبردهای بخش آب به‌عنوان زیرمعیارهای روش ANP به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. همچنین شکل ۵ چگونگی روابط بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، نه تنها 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 همچنین ارتباط بین معیارهایی که در یک سطح هستند نیز وجود دارد. اما در روش AHP با یک شبکه سلسله‌مراتبی روبرو هستیم که در آن فقط سطوح بالاتر در سطوح پایین‌تر تأثیرگذار می‌باشند.

مرحله ۴: در این مرحله با ضرب وزن هر یک از خوشه‌ها در ابرماتریس وزن‌دهی نشده، ابرماتریس وزن‌دهی شده فازی که شامل اعداد فازی مثلثی است، به‌دست می‌آید.

مرحله ۵: در این مرحله با انبوهش وزن‌های فازی بدست آمده در هر سطر از ابرماتریس وزن‌دهی شده فازی، وزن نهایی به‌دست می‌آید. سپس، بر اساس روش TOPSIS فازی، فاصله اقلیدسی از نقاط ایده‌آل مثبت (\tilde{v}_j^+) و منفی (\tilde{v}_j^-) با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آیند:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{r}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad , \quad d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{r}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (4)$$

در نهایت فاصله نزدیکی (CC_i)، برای تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها محاسبه می‌شود (Chen, 2000):

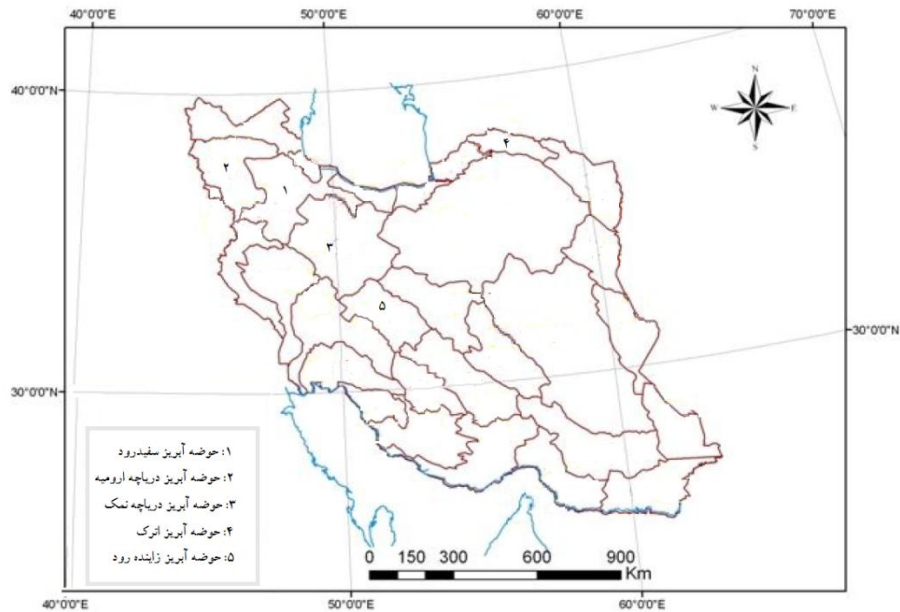
$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (5)$$

۳- نمونه مطالعاتی

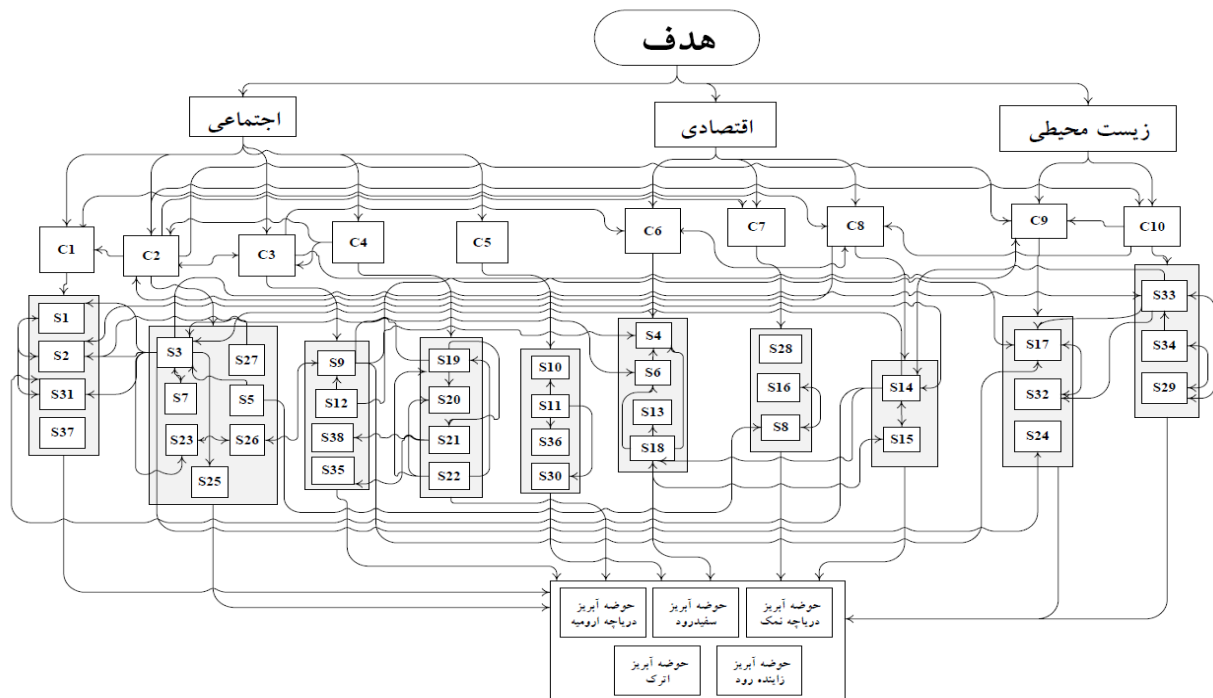
ایران یک کشور خشک و نیمه‌خشک با منابع آب محدود می‌باشد. بررسی تخصیص منابع آب به حوضه‌های آبریز در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب در سطح ملی بسیار حائز اهمیت بوده و کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که اجرای راهبردهای بخش آب در یک حوضه آبریز تأثیر بسزایی در توسعه مدیریت حوضه آبریز دارد و از طرفی به‌دلیل پیچیدگی تأثیرات و ارتباطات بین راهبردهای مختلف بخش آب که گاه در تعارض با یکدیگرند، هدف از این تحقیق ارائه روش تصمیم‌گیری جدید بر مبنای روش ANP فازی در جهت ارتقای مدیریت منابع آب و اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز

جدول ۲- خوشه‌های (زیرمعیارهای) راهبردهای بخش آب در روش ANP

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



شکل ۴- موقعیت حوضه‌های آبریز مورد بررسی (گزینه‌ها) در نقشه



شکل ۵- ساختار شبکه‌ای مدل تصمیم‌گیری ANP فازی

نشان داده شده است. در این مرحله ابرماتریس وزن‌دهی نشده فازی، نرمال شده و با ضرب وزن‌های بدست آمده برای خوشه‌ها در این ابرماتریس، ابرماتریس وزن‌دهی شده فازی بدست می‌آید. پس از تشکیل ابرماتریس وزن‌دهی شده فازی، وزن‌های فازی هر یک از سطرها محاسبه می‌شود. همچنین فاصله اقلیدسی از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی بر اساس رابطه (۴) بدست آمده و در نهایت فاصله نزدیکی هر یک از گزینه‌ها تعیین می‌شود.

۳-۲- ابرماتریس‌ها^۸

در این مرحله بر اساس روابط بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری که در شکل ۴ نشان داده شده است، ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی تشکیل می‌شوند. سپس با استفاده از رابطه (۳)، وزن‌های نسبی فازی محاسبه شده و ابرماتریس وزن‌دهی نشده فازی تشکیل می‌گردد. با توجه به اینکه ابرماتریس فازی دارای ستون‌ها و سطرها زیادی می‌باشد، بخشی از ابرماتریس وزن‌دهی نشده فازی در جدول ۴

جدول ۳- راهبردهای بخش آب به عنوان زیرمعیارهای روش ANP

S ₁	ارتقاء، استقرار و باز نگری نظام سنجش بهره‌وری آب در تعامل با بخش‌های مرتبط و ذینفع
S ₂	اعمال مدیریت تقاضا و عملیاتی سازی الگوی بهینه مصرف در بخش‌های مختلف مصارف و اعمال سیاست‌های تشویقی و حمایتی
S ₃	اعمال مدیریت بهم‌پیوسته آب در سطح ملی و حوضه آبریز با رعایت اصول توسعه پایدار و هماهنگی متقابل بین 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	ارتقاء مشارکت ذینفعان در فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا، بهره برداری و حفاظت از منابع و تأسیسات آبی با تأکید بر ایجاد و توسعه نهادهای تشکلی مردمی
S ₇	ارتقاء و استقرار ساختار سازمانی بخش آب بارویکرد مدیریت بهم‌پیوسته در حوضه‌های آبریز
S ₈	ایجاد و توسعه نظام‌های فنی، حقوقی و مبادله آب در چارچوب کنوانسیون‌های ذریبط بین المللی با لحاظ نمودن ظرفیت‌های منابع آبی و آب مجازی در راستای توسعه امنیت آبی کشور
S ₉	ارتقاء، استقرار و نهادینه کردن نظام بهره برداری، حفاظت و نگهداری از منابع و تأسیسات آب کشور
S ₁₀	بازچرخانی و استفاده مجدد از آب با تأکید بر جایگزینی پساب برای مصارف کشاورزی و فضای سبز و تخصیص منابع با کیفیت برای شرب و بهره برداری از منابع آب نا متعارف به ویژه منابع آب شور دریا و دریاچه‌ها
S ₁₁	به کارگیری روش‌های نوین استحصال آب
S ₁₂	ارتقا آگاهی عمومی جهت حفاظت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب
S ₁₃	ساماندهی و توسعه بازارهای محلی آب
S ₁₄	منظور نمودن ظرفیت‌های آبی و ارزش کامل اقتصادی، ذاتی، سیاسی، امنیتی، اجتماعی و زیست محیطی آب در طرح‌های کالبدی و آمایش سرزمین
S ₁₅	استقرار نظام قیمت گذاری آب بر اساس هزینه تمام شده با رویکرد ارتقاء بهره‌وری و کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره برداری
S ₁₆	اولویت در توسعه و بهره برداری بهینه از منابع آبی حوضه‌های آبریز مرزی و مشترک و استقرار ساختارهای حقوقی متناسب با آن
S ₁₇	توسعه سامانه فراگیر پایش و ارزیابی منابع و مصارف و کنترل فرآیند بهره برداری و حفاظت از منابع آب از جنبه‌های کمی و کیفی
S ₁₈	تنوع بخشی به منابع مالی و تقویت توان مالی با تأکید بر جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی و مشارکت بهره برداران در مطالعه، اجرا و بهره برداری طرح‌های آبی
S ₁₉	ظرفیت‌سازی، آموزش، توسعه و توانمندسازی مدیریت و منابع انسانی در بخش آب
S ₂₀	استقرار مدیریت دانش محور و به کارگیری علوم و فن آوری و تحقیقات روز در صنعت آب
S ₂₁	استقرار و ارتقاء مدیریت دانش در فرآیند مدیریت سازه ای و غیر سازه ای منابع آب
S ₂₂	ارتقاء نظام آموزش عمومی و تخصصی آب در کشور و گسترش پژوهش‌های کاربردی
S ₂₃	استقرار نظام برنامه ریزی، توسعه و بهره برداری از حوضه‌های آبریز کشور سازگار با اقلیم و شرایط حاصل از تغییر اقلیم
S ₂₄	ارتقاء و استقرار نظام پایش و ارزیابی عملکرد بر اساس برنامه استراتژیک بخش آب
S ₂₅	استقرار نظام اولویت بندی طرح‌های آبی بر اساس الزامات مدیریت به هم پیوسته منابع آب و تأکید بر اتمام همزمان و تکمیل چرخه طرح‌های چند منظوره
S ₂₆	توسعه مدیریت خطرپذیری (ریسک) و بحران جهت جلوگیری از نقصان در کمی 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 برق آبی هم‌امنگ با تأمین نیاز سایر بخش‌های مصرف
S ₂₈	توسعه صادرات کالاها و خدمات فنی و مهندسی بخش آب به کشورهای منطقه و جهان
S ₂₉	توسعه و تدوین برنامه‌های بهره برداری 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	ارتقاء بهره‌وری آب در بخش کشاورزی از طریق روش‌هایی نظیر کم آبیاری، اصلاح الگو و ترکیب کشت، کاهش تبخیر آب، کشت گلخانه‌ای و به ویژه الزامی نمودن استفاده از روش‌های نوین آبیاری
S ₃₂	پایش و مدیریت اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب کشور
S ₃₃	پایداری و تعادل بخشی 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 ارتقاء شاخص کارایی آب
S ₃₅	حفظ، احیاء و بهره‌برداری پایدار از آثار و سازه‌های تاریخی آبی
S ₃₆	تلاش ویژه در جهت دستیابی به دانش و مدیریت تحولات آب و هوایی 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 تغذیه منابع آب با انجام اقدامات برنامه ریزی شده آبخیز داری با همکاری سازمان‌های ذی‌ربط
S ₃₈	ارتقاء نظام مشتری مداری و حمایت مناسب از حقوق مشترکین با بهره گیری از فن آوری‌های جدید و اصلاح فرآیندهای موجود

جدول ۵- وزن های فازی، فاصله اقلیدسی d_i+ ، d_i- و فاصله نزدیکی (CCI)

گزینه‌ها	وزن های فازی	d_i+	d_i-	CC_i
دریاچه ارومیه	(۵/۹۱۶، ۱۲/۱۳۳، ۸/۹۳۷)	۰/۳۳۲	۰/۷۶۹	۱
دریاچه نمک	(۵/۳۷۴، ۱۱/۰۷، ۸/۱۰۱)	۰/۳۷۷	۰/۷	۰/۹۲۷
زاینده رود	(۵/۲۹۶، ۱۰/۴۸۲، ۷/۷۲۷)	۰/۳۹۴	۰/۶۶۸	۰/۹۰۷
سفیدرود	(۵/۱۲۸، ۱۰/۰۳۲، ۷/۹۳۴)	۰/۴۱۴	۰/۶۴۱	۰/۸۶۳
اترک	(۴/۶۰۱، ۶/۳۶۸، ۸/۸۲۱)	۰/۴۷۷	۰/۵۶۹	۰/۷۷

۴- نتایج

همانطور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، ارزیابی و اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بحرانی کشور با استفاده از الگوریتم جدید فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی انجام شد. براساس ابرماتریس‌های فازی، نتایج ارائه شده در جدول ۵ شامل وزن‌های فازی، فاصله اقلیدسی از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی و همچنین فاصله نزدیکی هر یک از گزینه‌ها می‌باشند.

از طرفی، برای بررسی عملکرد الگوریتم ارائه شده، نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با نتایج بدست آمده از روش ANP مقایسه شد. در روش ANP نیز رابطه شبکه‌ای بین خوشه‌ها، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها مانند شکل ۵ می‌باشد. در روش ANP، برای تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها، ماتریس وزن‌دهی شده به توان می‌رسد. عملیات به توان رساندن زمانی پایان می‌یابد که ماتریسی با سطرها برابر که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر با یک باشد، بدست آید. ماتریس نهایی، ماتریس حدی نامیده می‌شود. روش ترکیبی جدید ترکیبی نه تنها با در نظر گرفتن اعداد فازی مثلثی عدم قطعیت‌های تصمیم‌گیری را بهتر مدل می‌کند، بلکه عملیات ریاضی آن نیز ساده‌تر از روش‌های متداول می‌باشد. مقایسه نتایج بدست آمده از روش ANP و روش ANP فازی جدید در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- امتیازهای بدست آمده از روش ANP و ANP فازی

جدید

گزینه‌ها	الگوریتم جدید FANP	ANP
دریاچه ارومیه	۱	۱
دریاچه نمک	۰/۹۲۷	۰/۹۴۲
زاینده رود	۰/۹۰۷	۰/۸۹
سفیدرود	۰/۸۶۳	۰/۸۷۲
اترک	۰/۷۷	۰/۷۰۴

همانطور که ملاحظه می‌شود، در هر دو روش به کار برده شده، حوضه آبریز دریاچه ارومیه در اولویت اول قرار دارد. این بدان معناست که اعمال راهبردهای بخش آب تأثیر به‌سزایی در توسعه مدیریت این حوضه آبریز خواهد داشت. نتایج به دست آمده از الگوریتم جدید ANP فازی نشان می‌دهد که این الگوریتم می‌تواند به خوبی مسائل تصمیم‌گیری با روابط پیچیده بین معیارها را مدل کند. همچنین استفاده از ریاضیات فازی به مدل کردن بهتر عدم قطعیت‌های موجود در نظرات تصمیم‌گیرنده‌ها کمک می‌کند. مزایای مهم الگوریتم جدید ANP فازی نسبت به روش‌های متداول ANP عبارتند از:

- در روش پیشنهادی، وزن‌های نسبی به دست آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی به صورت اعداد فازی مثلثی می‌باشند. در نتیجه بهتر می‌توانند بیانگر نظرات بیانی تصمیم‌گیرنده‌ها باشند. در صورتی که در روش‌های متداول ANP فازی، وزن‌های نسبی بدست آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی، اعداد کلاسیک می‌باشند.
- در الگوریتم ارائه شده، پس از تشکیل ابرماتریس وزن‌دهی شده، فاصله اقلیدسی از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی بدست می‌آید. در نتیجه در این روش ترکیبی از مزایای هر دو روش ANP و TOPSIS استفاده شده است.
- روش پیشنهادی جدید بسیاری از پیچیدگی‌های روش‌های متداول ANP از جمله به توان رساندن ابرماتریس وزن‌دهی شده را ندارد.

از طرفی، برای بررسی تأثیر وزن خوشه‌ها در اولویت‌بندی نهایی حوضه‌های آبریز، تحلیل حساسیت بر روی وزن خوشه‌ها انجام شده است. شکل ۶ نتایج اولویت‌بندی به ازای وزن‌های مختلف زیر معیارهای (خوشه‌های) مربوط به معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، وقتی وزن C_2 بسیار زیاد باشد، اختلاف بین امتیاز گزینه‌ها بسیار کمتر از زمانی است که وزن C_1 بسیار زیاد در نظر گرفته می‌شود. همچنین به ازای وزن بسیار زیاد برای C_6 ، زاینده‌رود در رتبه اول، دریاچه نمک در رتبه

آب در مدیریت حوضه‌های آبریز و همچنین ارتباط و وابستگی پیچیده بین معیارها و زیرمعیارهای مختلف در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، در این تحقیق، با ارائه یک روش ترکیبی جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره براساس روش ANP فازی، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بحرانی کشور انجام شده است. همچنین نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی ANP فازی با نتایج روش ANP مقایسه شده است. با توجه به اینکه در روش ترکیبی ANP فازی، از ترکیب دو روش ANP و TOPSIS استفاده شده، لذا این روش مزایای هر دو روش را در بر می‌گیرد. در این روش، به دلیل استفاده از ریاضیات فازی، عدم قطعیت‌های موجود در نظرات تصمیم‌گیرنده‌ها بهتر مدل می‌شود. برخلاف اکثر روش‌های ANP فازی که در آنها ابرماتریس‌ها شامل اعداد کلاسیک هستند، در روش ترکیبی ارائه شده در این تحقیق، ابرماتریس‌های وزن‌دهی نشده و وزن‌دهی شده شامل اعداد فازی مثلثی می‌باشند. از طرف دیگر، یکی از مزایای مهم روش پیشنهادی جدید این است که علیرغم استفاده از ریاضیات فازی که دارای پیچیدگی‌های خاص می‌باشد، دارای الگوریتم ساده‌تری نسبت به روش‌های قبلی است. به طوری که روش جدید بسیاری از پیچیدگی‌های روش‌های متداول ANP از جمله به توان رساندن ابرماتریس وزن‌دهی شده را ندارد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که حوضه آبریز ارومیه دارای بیشترین و حوضه آبریز اترک دارای کمترین امتیاز می‌باشند. روش ANP فازی ارائه شده در این تحقیق می‌تواند در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری و مدیریتی که در آنها روابط پیچیده‌ای بین عناصر تأثیرگذار برقرار است، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین برای بررسی تأثیر وزن خوشه‌ها در اولویت‌بندی نهایی حوضه‌های آبریز، تحلیل حساسیت بر روی وزن خوشه‌ها انجام شده است.

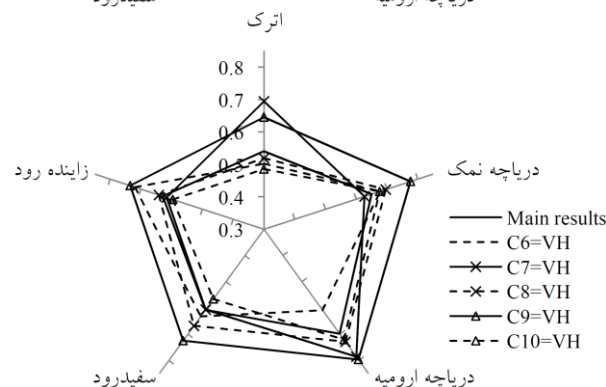
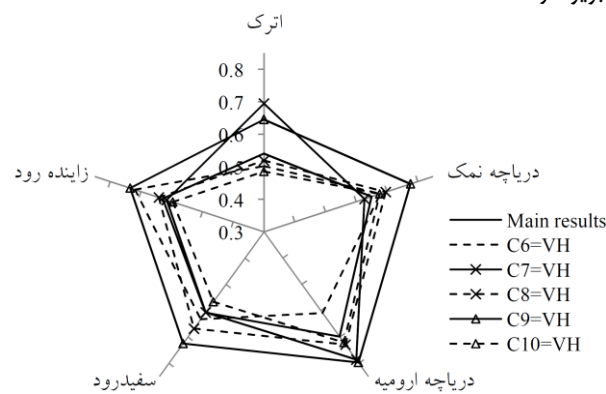
پی نوشت‌ها

- 1-Multiple Attribute Decision Making
- 2- ELimination Et Choice Translating REality
- 3- Fuzzy Compromise Programming
- 4- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- 5- Analytical Network Process
- 6- Fuzzy Analytical Network Process
- 7- Cluster
- 8-Supermatrix

۶- مراجع

رضوی طوسی س ل، محمدرولی سامانی ج و کوره‌پزان دزفولی ا (۱۳۸۶) اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با

دوم، سفیدرود در رتبه سوم و دریاچه ارومیه در رتبه چهارم قرار می‌گیرد. اما، به‌ازای وزن بسیار کم برای C_6 ، دریاچه ارومیه دارای بالاترین امتیاز می‌باشد. حوضه آبریز اترک همچنان دارای کمترین امتیاز است. از طرفی، وقتی وزن C_7 بسیار زیاد باشد، حوضه آبریز ارومیه در مرتبه اول و حوضه اترک در مرتبه دوم قرار می‌گیرد. این امر نشان می‌دهد که تغییر وزن‌های C_6 و C_7 که زیر معیار بخش اقتصادی می‌باشند، تأثیر بیشتری در تغییر اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز دارد.



شکل ۶- تحلیل حساسیت امتیاز هر حوضه نسبت به اعمال وزن حداکثری برای زیرمعیارهای دهگانه مربوط به راهبردهای بخش آب

۵- نتیجه‌گیری

آب به عنوان یکی از منابع اصلی برای توسعه پایدار کشور می‌باشد. راهبردهای توسعه بلندمدت منابع آب کشور به عنوان راهنمای مناسبی برای تدوین برنامه‌های مدیریت حوضه‌های آبریز کشور بوده و در عین حال با ایجاد هم‌پیوندی در عرصه‌های مدیریت فرابخشی آب موجب بهره‌برداری بهینه از منابع آب کشور خواهد گردید. یکی از مسائل مهم در برنامه کلان بخش آب، به‌خصوص در تخصیص آب، ارزیابی حوضه‌های آبریز از دیدگاه مدیریتی و بر اساس راهبردهای مختلف بخش آب می‌باشد که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت ارزیابی تأثیر راهبردها و شاخص‌های مختلف بخش

- 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.
- Lee HI, Hung MC, Kang HY, Pearn WL (2012) A wind turbine evaluation model under a multi-criteria decision making environment. *Energy Conversion and Management* 64:289- 300.
- 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* 1:420- 427.
- Minatour Y, Khazaei J and Ataei M (2013) Earth dam site selection using the analytical hierarchy process (AHP): a case study in the west of Iran. *Arabian journal of geosciences* 6 (9):3417- 3426.
- Montazar A and Behbahani SM (2007) Development of an optimized irrigation system selection model using analytical hierarchy process. *Biosyst Eng* 98:155- 165.
- Montazar A and Zadbagher E (2010) An analytical hierarchy model for assessing global water productivity of irrigation network in Iran. *Water Resour Manag* 24:2817- 2832.
- Niemiraa MP and Saaty TL (2004) An analytic network process model for financial-crisis forecasting. *International Journal of Forecasting* 20: 573- 587.
- Raj PA (1995) Multicriteria methods in river basin planning- A case study. *Water science and technology* 31:61- 272.
- Raj AP and Kumar ND (1998) Ranking multi-criterion river basin planning alternatives using fuzzy numbers. *Fuzzy sets and systems* 100:89- 99.
- Raju SK, Duckstien L and Arondel C (2000) Multicriterion Analysis for Sustainable Water Resources planning: A Case Study in Spain. *Water Resources Managemen* 14:435- 456.
- Razavi Toosi SL and Samani JMV (2012) Evaluating water transfer projects using Analytic Network Process (ANP). *Water Resources Management* 26:1999- 2014.
- Razavi Toosi SL, Samani JMV and Koorehpazan Dezfuli A (2009) Ranking water transfer projects using fuzzy methods. *Proceedings of Institution Civil Engineers. Water management. WM4 (163):189- 197.*
- Rezaeiniya N, Ghadikolaei AS, Mehri-Tekmeh J, Rezaeiniya H (2014) Fuzzy ANP Approach for New Application: Greenhouse Location Selection; a Case in Iran. *Journal of mathematics and computer science* 8:1- 20.
- استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخه‌ای فازی. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، سال سوم، شماره ۲، ۹-۱.
- رضوی طوسی س ل، محمدولی سامانی ج و کوره‌پزان دزفولی ا (۱۳۹۰) مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخه‌ای گروهی فازی در اولویت بندی پروژه‌های انتقال آب. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، جلد ۷، شماره ۳، ۱۲-۱.
- Abrishamchi A, Ebrahimian A and Tajrishi M (2005) Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply. *J Water Res PI-ASCE* 131: 326- 335.
- Afshar A, Marino MA, Saadatpour M and Afshar A (2011) Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. *Water Resour Manage* 25: 545- 563.
- Ayağ Z and Özdemir RG (2012) Evaluating machine tool alternatives through modified TOPSIS and alpha-cut based fuzzy ANP. *Int. J. Production Economics* 140: 630- 636.
- 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 International Journal of Computer Science and Network Security* 8:333- 338.
- Chang YF and Ishii H (2013) Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach to assess the Project Quality Management in Project. *Procedia Computer Science* 22: 928- 936.
- Chen TC (2000) Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems* 114:1- 9.
- 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.
- Huang JJ, Tzeng GH and Ong CS (2005) Multidimensional data in multidimensional scaling using the analytic network process. *Pattern Recogn Lett* 26:755- 767.
- Kang HY, Hung MC, Pearn WL, Lee AH I and Kang MS (2011) An integrated multi-criteria decision making model for evaluating wind farm performance *Energies* 4: 2002-2026.
- 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.

- Management Scenarios. *Water Resources Management* 18:35- 54.
- Srdjevic B and Medeiros YDP (2008) Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans. *Water Resour Manage* 22: 877- 894.
- Tavana M, Zandi F, Katehakis MNA hybrid fuzzy group ANP-TOPSIS framework for assessment of e-government readiness from a CiRM perspective. *Information & Management* 50:383- 397.
- Wu WW and Lee YT (2007) Selecting knowledge management strategies by using the analytic network process. *Expert Syst. Appl.* 32:841- 847.
- Yacob AMB (2007) Management of Melana watershed using multicriteria decision making approaches. Master of engineering thesis. Faculty of Civil Engineering. University Teknologi Malaysia.
- 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.
- 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):280- 293.
- Zarghami M, Abrishamchi A and Ardakanian R (2008) Multi-criteria Decision Making for Integrated Urban Water Management. *J. Water Resour Manage* 22:1017- 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):73- 80.
- Rouyendegh BD and Can GF (2012) Selection of working area for industrial engineering students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 31:15- 19.
- Saaty TL (1996) *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty TL (2005) *Theory and applications of the Analytic Network Process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 4922 Ellsworth Avenue, Pittsburgh, PA 15213.
- Saaty TL (2006) Applications of Analytic Network Process in entertainment. *Iranian Journal of Operations Research* 1:41- 55.
- Saaty TL (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences* 1(1):83- 98.
- 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.
- Safari M, Ataei M, Khalokakaie R, Karamozian M (2010) Mineral processing plant location using the analyeical hierarchy process- a case study: the Sangan iron ore mine (phase1). *Min Sci Technol* 20:0691- 0695.
- Simonovic SP and Prodanovic P (2002) Comparison of Fuzzy Ranking Methods for Implementation in Water resources decision-making. *Canada Journal of Civil Engineering* 29:692- 701.
- Srdjevic B, Medeiros YDP and Faria AS (2004) An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water