تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
Volume 15, No. 4, Winter 2020 (IR-WRR)
۳۱۳-۲۹۹

الگوی تصمیم‌گیری‌در شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر درطرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مبتنی بر روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سلسله مراتبی (AHP)

محمد حسنوی آتشگاه[۱]، مهدی یاسی[۲*] و ابراهیم امیری تکلدانی[۳]

چکیده

رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی سبب درخواست روزافزون منابع آبی شده است که یکی از راه‌های جبران کمبود آب، انتقال آب بین حوضه‌ای است. با گذشت زمان و پیشرفت اجرایی این طرح‌ها، چالش‌های متعدد و اساسی در زمینه‌های مختلف از جمله زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی پدید آمده و تصمیم‌گیری در مورد اجرا و انتخاب آن‌ها را دشوار نموده است. بدین منظور شناسایی و اولویت‌بندی دقیق‌ترِ معیارها و شاخصه‌های اثرگذار در این طرح‌ها ضروری است. در این مقاله، ابتدا معیارها و شاخصه‌ها با روش دلفی به هشت معیار اصلی طبقه‌بندی‌شده و سپس با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سلسله‌مراتبی (AHP) اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد که در هر دوروش، اولویت معیارهای اصلی یکسان بوده و معیار سیاسی و امنیتی، بهداشتی و درمانی و زیست‌محیطی به ترتیب با وزن نرمال ۰/۳۶، ۰/۱۶ و ۰/۱۵ در رتبه‌های اول تا سوم قراردارند. در روشAHP، ارجحیت گزینه‌های انتقال با هدف تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعتی و محیط زیستی به ترتیب ۵۶، ۱۷، ۱۶ و ۱۱ درصد است. ولی در ANP گزینه آب شرب با ۵۶ درصد در رتبه نخست بوده و آب صنعتی با ۱۸ درصد، آب کشاورزی با ۱۴ درصد و آب محیط زیستی با ۱۲ درصد به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده، بیانگر دقت و واقع‌بینانه‌تر بودن نتایج روش ANP در اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای است.

کلمات کلیدی: انتقال آب، تصمیم‌گیری چندمعیاره، دِلفی، ANP و AHP.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۶/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۹/۷

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کرج، دانشگاه تهران.
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کرج، دانشگاه تهران.
۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کرج، دانشگاه تهران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Decision Making Pattern in Identifying and Ranking Effective Criteria in Inter-Basin Water Transfer Projects Based on Network Analysis Process and Analytical Hierarchy Process

M. Hosnavi Atashgah [1], M. Yasi [2], and E. Amiri Takaldani [3]*

Abstract

Population growth and the development of industrial and agricultural activities have led to the increasing demand for more water resources. One of the ways to compensate for water scarcity is Inter-Basin Water Transfer (IBWT). Over time and with the progress of implementation of these projects, numerous challenges such as environmental, economic, social and technical issues have arisen in a variety of areas that make difficult to decide on their implementation and selection. For this purpose, it is necessary to identify and prioritize effective criteria and indicators more precisely of these projects. In this paper, the criteria and indices were first classified by Delphi method into 8 main criteria and then they were prioritized by ANP and AHP. The results showed that the priority of the main criteria that in both methods were the same and the normal weight of political-security, health and environmental criteria is 0.36, 0.16 and 0.15, respectively. In AHP, transmission options aimed at supplying urban, agricultural, industrial and environmental water are 56%, 17%, 16% and 11%, respectively. But in the ANP, drinking water is the first priority with 56 percent, followed by industrial water with 18 percent, agricultural water with 14 percent and environmental water with 12 percent, respectively. The results show the accuracy and precision of the use of the ANP model in ranking among different alternatives in any inter-basin water transfer projects.

Keywords: Water Transfer, Multi-Criteria Decision Making, Delphi, ANP, AHP.

Received: September 20, 2019
Accepted: November 28, 2019

1- Ph.D. Student in Water Structures, Department of Irrigation and Rehabilitation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Karaj Campus, University of Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Irrigation and Rehabilitation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Karaj Campus, University of Tehran, Iran. Email: m.yasi@ut.ac.ir
3- Professor, Department of Irrigation and Rehabilitation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Karaj Campus, University of Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

آب یکی از بزرگترین چالش‌ها و بحران‌های قرن حاضر است که می‌تواند منشاء بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد و به پیش‌بینی کارشناسان، جنگ‌های آینده بر سر منابع آبی خواهد بود. افزایش درجه حرارت ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای از یک طرف و رشد جمعیت و گستردگی جوامع شهری به همراه توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی از طرف دیگر سبب افزایش درخواست و نیاز روزافزون به منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است. به همین خاطر در بعضی از نقاط خشکسالی، کمبود آب، عدم توانایی در تأمین آب مورد نیاز و در نهایت کوچ اجباری و ترک محل زندگی ساکنین مشاهده می‌شود. یکی از روش‌های مرسومی که از گذشته تا به حال به منظور تأمین و جبران کمبود آب در ایران و جهان کاربرد داشته است، انتقال آب از مناطق و حوضه‌های پرآب بـــه مناطق و حوضه‌های کم‌آب بـــوده است کـــه بـــه انتقال آب بین حـــوضه‌ای[1] مشهور است (Bakhtiari and Fathi moghaddam, 2012).

Bhattarai et al. (2002)، انتقال آب بین حوضه‌ای را یک ابزار سازه‌ای جهت کاهش تنش ناشی از بحران آب در یک منطقه از طریق انتقال آب از منطقه پرآب تعریف می‌کند که ضمن برقراری توازن و همگنی در توزیع آب، موجب کاهش خسارات ناشی از سیلاب در حوضه پرآب خواهد شد. Cole and Carver (2011) نیز انتقال آب بین حوضه‌ای را برداشت، انحراف یا پمپاژ آب سطحی از یک رودخانه یا برداشت آب زیرزمینی از نقطه‌ای در یک حوضه و تخلیه تمام یا بخشی از آن در حوضه‌ای دیگر معرفی می‌کنند.

اگرچه قدمت انتقال آب به صدها سال پیش برمی‌گردد ولی ضرورت طرح این موضوع، از ۲۰۰ سال پیش تاکنون بیش‌تر احساس شده است. اوج طراحی و اجرای پروژه‌های بزرگ انتقال آب در کشورهای صنعتی و پیشرفته به دهه‌های ۶۰ و ۷۰ میلادی مربوط می‌شود. به‌طور معمول طرح‌ها و پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با یک یا چند هدف طراحی می‌شوند که از مهم‌ترین این هدف‌ها می‌توان به تأمین آب شهری، کشاورزی، صنعتی، زیست‌محیطی و تأمین انرژی اشاره کرد. در همین راستا و تا سال ۲۰۰۰ میلادی، بیش از ۴۳ درصد پروژه‌ها در قاره‌های مختلف با هدف تأمین آب شهری، ۱۹ درصد با هدف تأمین آب کشاورزی و تولید انرژی، ۱۳ درصد با اهداف زیست‌محیطی و ۲۵ درصد پروژه‌ها نیز به صورت چند منظوره طراحی و اجرا شده‌اند. بررسی تعداد و حجم آب انتقالی توسط طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در سرتاسر جهان نشان می‌دهد که روند اجرای این‌طرح‌ها، از گذشته تا به حال دارای روند افزایشی بوده است. بر اساس پیش‌بینی‌های مختلف از جمله کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی[2] برای افق زمانی ۲۰۰۰ میلادی و یونسکو[3] برای افق زمانی ۲۰۲۰ میلادی، حجم آب انتقالی ناشی از اجرای این طرح‌ها به ترتیب ۵۴۰ و ۷۶۰ الی ۲۴۰ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است. این آمار بیانگر افزایش تقریبی بین ۳۰ تا ۵۰ درصدی حجم آب انتقالی در مدت ۲۰ سال در جهان است (Sadeghi et al., 2016).

در ایران نیز به دلیل عدم توزیع یکنواخت زمانی و مکانی بارش‌ها، رشد جمعیت شهری و توسعه کشاورزی و صنعتی، روند درخواست و مصرف آب رو به افزایش است و در نتیجه انتقال آب از حوضه‌ای به حوضه‌ای دیگر برای برقراری این توازن و توزیع همگن‌تر منابع و نیازها، یکی از راه‌های اساسی تأمین نیاز آبی می‌باشد که مورد توجه بسیاری از سیاست‌گذاران و مسئولان حوزه آب کشور در ۲ دهه اخیر قرار گرفته است. بر اساس طرح جامع آب کشور تا سال ۱۴۰۰ شمسی، حجم آب انتقالی در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، ۳/۹۸ میلیارد مترمکعب در سال است. این در حالی است تا سال ۱۳۸۵، ظرفیت طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در دست مطالعه، اجرا و بهره‌برداری به ترتیب ۴/۴۵، ۲/۴۲، ۱/۲۴ میلیارد مترمکعب در سال بوده است. این حجم آب انتقالی بیش از دو برابر ارقام پیش‌بینی شده است و این موضوع بیانگر نگاه ویژه و توسعه‌طلبانه تصمیم‌گیران بخش آب به این‌گونه طرح‌ها است و بر اساس شواهد موجود نیز این روند ادامه خواهد داشت. بر اساس چشم‌انداز ترسیم‌شده توسط یونسکو برای افق زمانی ۲۰۲۰ میلادی، حجم آب انتقالی ناشی از اجرای طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران در حدود ۳۰ تا ۴۰ میلیارد مترمکعب خواهد بود که با روند کنونی اجرا و اشتیاق فراوان در مطالعه طرح‌های جدید انتقال آب، امری محتمل به نظر می‌رسد (Sadeghi et al., 2016).

با گذشت زمان و پیشرفت اجرایی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، به تدریج پیامدها و آثار منفی و مثبت آن نیز بروز کرده و بخش‌های مختلف را تحت تأثیر قرار داده است. در آمریکا و به دلیل اجرای طرح انتقال آب اوگوکی[4] زیستگاه‌های بزرگ آبی پدید آمده‌اند ولی در عین حال باعث اختلال در وضعیت هیدرولوژیکی و مرفولوژیکی منطقه، کاهش انتقال مواد مغذی به پایین‌دست و مرگ و میر ماهی‌ها در اثر احداث سد در مسیر انتقال، کاهش کیفیت و سطح آب رودخانه شده است (Day et al., 1982). در چین به دلیل اجرای طرح بزرگ انتقال آب از جنوب به شمال این کشور با ظرفیت ۱۰ میلیارد مترمکعب در سال، خسارات زیادی از جمله بالارفتن سطح سفره آب زیرزمینی و شوری خاک در مناطق خشک شمالی، آلودگی بالای آب‌های سطحی، افزایش شدت رسوب‌گذاری و کاهش هوادهی، ازدیاد و انتقال بیماری‌های ناشی از آلودگی آب، افزایش تبخیر و تعرق، افزایش

فرونشست زمین و زمین‌لغزش، تغییر اقلیم بعضی مناطق، و برهم خوردن رژیم آبی رودخانه یانگ تسه را ایجاد نموده و موجبات افزایش مهاجرت و بی خانمانی حدود ۵۰۰ هزار نفر را پدید آورده است (Yuexian and Jialian, 1983; Ghassemi and White, 2007; Pittock et al., 2009).

در ایران و در سال‌های اخیر، به دلیل تغییراتی که پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در حوضه‌های مبدأ و مقصد به وجود آورده‌اند، محققان بسیاری تلاش کرده‌اند اثرات این پروژه‌ها را از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار دهند. نتایج این تحقیقات گواهی این مطلب است که علیرغم مزایای طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در رفع کمبود آب به‌منظور مصارف شهری، کشاورزی و صنعتی، اجرای این طرح‌ها می‌تواند چالش‌های اساسی را در حوضه مبدأ، مسیر انتقال و حوضه مقصد به همراه داشته باشد. ازجمله این چالش‌ها می‌توان به اثرات زیست‌محیطی (کاهش میزان آب سطحی و زیرزمینی، کاهش جریان طبیعی رودخانه و افزایش غلظت مواد آلاینده به علت کاهش جریان)، اثرات فیزیکی و ژئومرفولوژیکی (کاهش استحکام جداره و سواحل رودخانه به علت کاهش جریان، کاهش آب‌گرفتگی سیلاب دشت‌های اطراف آبراهه و کاهش نوسانات سطح آب) اثرات بیولوژیکی (مشکل مهاجرت ماهیان و کاهش جمعیت آن‌ها به دلیل کاهش جریان و انتقال و ترکیب گونه‌های جانوری)، اثرات شیمیایی (افزایش غلظت مواد آلاینده به علت کاهش جریان آب)، اثرات اجتماعی (افزایش مهاجرت و حاشیه‌نشینی) و اثرات اقتصادی (تحمیل هزینه‌های پیش‌بینی نشده و عدم توانایی در تأمین بودجه طرح) اشاره کرد (Abrishamchi and Tajrishy, 2005; Rezaei and Basirzadeh, 2011; Samadi and Saeedinia, 2013; Arab and Hashemi, 2013).

از طرفی یکی از چالش‌های جدی در طرح‌های انتقال آب و ارزیابی آن‌ها، وجود پارامترهای مؤثر گوناگون، پیچیده و غالباً کیفی است که به علت نقش و اثربخشی متفاوت هر کدام، ارزیابی دقیق و جامع جهت تصمیم‌گیری درباره اجرای این طرح‌ها را بسیار دشوار می‌سازد. تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده ناپایدار، یکی از مسائل مهم در مدیریت نوین به شمار می‌رود و طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای نیز از این امر مستثنی نبوده و ویژگی‌های پیچیده حوضه‌های مبدا و مقصد، پیچیدگی در تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه برتر را دو چندان می‌کند. امروزه، جهت انتخاب و اولویت‌بندی دقیق‌تر معیارها و گزینه‌ها، تحلیل مشخصه‌های کمی و کیفی مؤثر و ارزیابی اثرات متقابل آن‌ها، استفاده از مباحث مربوط به تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره[۵] و تکنیک‌های تحلیل تصمیم‌گیری و بهره‌گیری از آن‌ها گسترش یافته است و با توجه به قابلیت آن‌ها، کاربردهای فراوانی در موضوعات مختلف پیدا کرده‌اند.

تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، مبحثی است که به فرآیند تصمیم‌گیری در حضور معیارهای متفاوت، وابسته و بعضاً متناقض می‌پردازد. با توجه به وجود اهداف و معیارهای چندگانه در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، این معیارها می‌توانند در تعارض یا ارتباط با هم بوده و یا دارای مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت باشند. از طرفی، در این پروژه‌ها قابلیت کمّی‌کردن همه معیارها و به دست‌آوردن تابع اندازه‌گیری به منظور مقایسه و ارزیابی دقیق همه گزینه‌ها وجود ندارد و لذا باید از نظرات خبرگان به منظور اخذ داده‌های کیفی استفاده کرد. به همین خاطر استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره مناسب و سازگار با شرایط خاص این‌گونه طرح‌ها جهت اولویت‌بندی معیارها و شاخصه‌های مؤثر و همچنین انتخاب مناسب‌ترین گـــزینه از میان گزینه‌های ارائه شـده در یک پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای، ضروری است.

یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)[۶] است که علیرغم کاربردی بودن در علوم مختلف کمتر در حوزه تصمیم‌گیری در مسائل مربوط به انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران، مورد توجه قرار گرفته است، در حالی که روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[۷] به طور گسترده‌ای توسط شرکت‌های مهندسان مشاور در اولویت‌بندی و انتخاب گزینه برتر طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mahab Ghodss Consulting Engineering Co., 2019). روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای دارای ویژگی‌های مثبتی از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت را دارا است. مهمترین ویژگی مثبت این روش نسبت به سایر روش‌های به‌کاربرده شده (مانند تحلیل سلسله‌مراتبی، روش میانگین وزنی ساده[۸]، تکنیک ترجیح بر اساس مشابهت با راه‌حل ایده‌آل[۹]) در ارزیابی و اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر در انتقال آب بین حوضه‌ای، در نظرگرفتن ارتباطات پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد[۱۰]) میان عناصر تصمیم (معیارهای اصلی و زیرمعیارها) با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای به‌جای ساختار سلسله مراتبی است (Saaty, 1996). لذا کاربرد روش ANP در اولویت‌بندی معیارهای اصلی و موثر به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف انتقال آب ارائه شده در یک پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای، نتایج دقیق‌تر و قابل اطمینان‌تری را در اولویت‌بندی معیارها و انتخاب گزینه برتر انتقال در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد. به هرحال اگر هدف "بررسی تأثیر ارتباطات متقابل و درونی معیارها و گزینه‌ها" مورد نظر باشد، برای بررسی میزان این ارتباطات در دقت نتایج اولویت‌بندی معیارها و ارجحیت گزینه‌ها باید مقایسه‌ای نیز با نتایج مدل AHP انجام شود تا میزان تأثیرگذاری‌ها تعیین گردد.

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

در کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب گزینه برتر و اولویت‌بندی معیارها، Zarghami (2005) معیارهای ارزیابی طرح‌های منابع آب در ایران را در قالب استخراج درخت معیارها با کمک نظرات کارشناسان خبره استخراج نمود. در ادامه تحقیقات جهت ارزیابی و بررسی کارایی مؤثر این روش‌ها، سه روش میانگین وزنی ساده، مرتب و برنامه‌ریزی سازشی مورد مقایسه قرار گرفتند (Zarghami and Ehsani, 2011).

Jahanbin et al. (2012) نیز با هدف شناسایی و مدیریت مؤثرترین پارامترهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در بهره‌برداری بهینه از پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، از روش دلفی[11] و AHP استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در بهره‌برداری از حوضه‌های آبی و انتقال آب جهت مصارف توسعه‌ای کشور، حفظ پایداری هر دو نقطه مبدأ و مقصد، مؤثرترین پارامتر در بهره‌برداری این پروژه‌ها است.

Rahimi and Solaimani (2017) به ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از راه دور با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره ANP پرداختند. بررسی آن‌ها نشان داد که با توجه به وابستگی‌های مسائل محیطی، استفاده از روش ANP، پشتیبانی‌های لازم را برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در حل مسائل مدیریت آب به عمل می‌آورد تا بتوانند درک عمیق‌تری از مسائل محیطی به‌دست آورند و بهره‌برداری بهینه‌تری از منابع آب منطقه داشته باشند.

Mansouri et al. (2017) در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی را به طور همزمان در بهره‌برداری از مخازن احداث شده جهت انتقال آب توسط تونل‌های انتقال ضروری دانستند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که با تغییر و بهینه‌سازی قطر تونل‌های انتقال و ایجاد شرایط برای راندمان انتقال ۹۵ درصد، هزینه اقتصادی طرح انتقال نیز بهینه خواهد شد.

Alibeygi et al. (2018) الگویی را برای شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر روند تحولات مکانی- فضایی در مقیاس ناحیه‌ای جهت تهیه سناریوهای متصور برای آینده تحولات مکانی- فضایی ناشی از اجرای طرح انتقال آب رودخانه سیروان با کمک روش دلفی ارائه کردند.

از جمع‌بندی مطالب و مشاهدات مربوط به پیامدها و آثار طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای و ارزیابی آن‌ها، به نظر می‌رسد که بایستی جنبه‌ها، معیارها و ملاحظات اثرگذار و مرتبط با این‌گونه طرح‌ها به درستی و متناسب با پیامدهای احتمالی استخراج گردد و سپس به درستی اولویت‌بندی شوند. یکی از دلایل اهمیت اولویت‌بندی صحیح معیارها و شاخصه‌ها به این خاطر است که ممکن است با جابه‌جایی نادرست آن‌ها، سیاست‌های غلطی توسط تصمیم‌گیرندگان حوزه آب اتخاذ گردد که آثار مخرب آن در زمینه‌ها و دوره‌های زمانی مختلف، کشور را با مخاطرات جدی روبرو سازد.

همان‌طور که مشهود است، آثار و پیامدهای طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در حوزه‌های مختلفی از جمله زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی بوده و در بعضی زمینه‌ها خسارت‌های جبران‌ناپذیری را وارد ساخته است. همچنین پیامدها و مشکلات این طرح‌ها صرفاً شامل موضوعاتی است که تاکنون مشاهده گردیده است و ممکن است در آینده نیز باعث بروز مشکلات و اثرگذاری‌های نامطلوب دیگری از جمله آسیب به امنیت ملی و ثبات سیاسی کشور شود. لذا شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی شاخصه‌ها و معیارهای مهم و اثرگذار به منظور ارزیابی جامع و دقیقِ طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای ضروری به نظر می‌رسد. به همین‌منظور، در این تحقیق و با هدف ارائه الگویی جدید در زمینه شناسایی و دسته‌بندی معیارهای اصلی و اثرگذار در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با رویکرد شبکه‌ای جهت افزایش دقت در نتایج اولویت‌بندی و انتخاب گزینه برتر، ابتدا معیارهای اصلی مهم و اثرگذار در ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در زمینه‌های مختلف و متناسب با شرایط این‌گونه طرح‌ها در ایران استخراج شده و توسط روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای اولویت‌بندی می‌شوند. هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست آمده در اولویت‌بندی و انتخاب گزینه برتر در این‌گونه طرح‌ها، کاربرد روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه از جمله روش سلسله‌مراتبی در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار خواهد گرفت و پیشنهادهای لازم به منظور نحوه انجام بررسی‌های مربوط به طرح‌های انتقال آب به عمل خواهد آمد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- انتخاب معیارها

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، در ابتدا معیارها، شاخصه‌ها و عوامل اثرگذار در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با بررسی مستندات، جستجوی کتابخانه‌ای و نظرات کارشناسان تهیه شد. لازم به ذکر است که این معیارها و شاخصه‌ها با توجه به حوضه مبدأ، مسیر انتقال و حوضه مقصد شناسایی و استخراج می‌شوند. سپس، معیارها و شاخصه‌های اثرگذار در هفت معیار اصلی اولیه شامل معیارهای زیست‌محیطی، اجتماعی و فرهنگی و بهداشتی، اقتصادی و مالی، فنی و اجرایی، سیاسی و امنیتی، سیاست‌گذاری و مدیریتی و حقوقی و قانون‌گذاری طبقه‌بندی شده و به منظور تعیین و دسته‌بندی مناسب و دقیق‌تر، از روش دلفی که جزء روش‌های مؤثر در کسب وفاق جمعی بین متخصصین در موضوعی مشخص است، استفاده به‌عمل آمد (Ludwig and Starr, 2005).

مراحل کار با روش دلفی در این تحقیق به شرح ذیل است (شکل ۱):

۱- تبیین مسأله و ارائه ساختار اولیه معیارها در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای

۲- انتخاب افراد شرکت‌کننده شامل اساتید دانشگاه و صاحب‌نظران، کارشناسان شرکت‌های مشاور و مدیران دستگاه‌های اجرایی.

۳- ارسال پرسشنامه و طرح اولیه

۴- دریافت پاسخ، خلاصه کردن نتایج دور اول برای نظرخواهی دوم

۵- ارسال پرسشنامه دور دوم

۶- دریافت پاسخ، خلاصه کردن نتایج دور دوم

۷- جمع‌بندی و نهایی‌کردن معیارها

لازم به ذکر است که معمولاً در سومین دور پراکندگی کاهش و توافق نسبی حاصل می‌شود ولی در این تحقیق با توجه به دقت جمع‌آوری و معیارها و عوامل اثرگذار، این وفاق در مرحله دوم توسط خبرگان پدید آمد.

در این تحقیق بعد از ارسال پرسشنامه در دور اول و دریافت نظرات کارشناسان، معیارهای اصلی به هشت معیار اصلی تغییر پیدا کرد که با ارسال پرسشنامه تغییریافته در دور دوم، مورد تأیید همه کارشناسان قرار گرفت. در تقسیم‌بندی جدید، معیارها و شاخصه‌های اثرگذار طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای به هشت معیار اصلی شامل معیارهای زیست‌محیطی، مالی و اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، بهداشتی و درمانی، سیاسی و امنیتی، فنی و اجرایی، سیاست‌گذاری و مدیریتی و حقوقی و قانون‌گذاری تقسیم شدند.

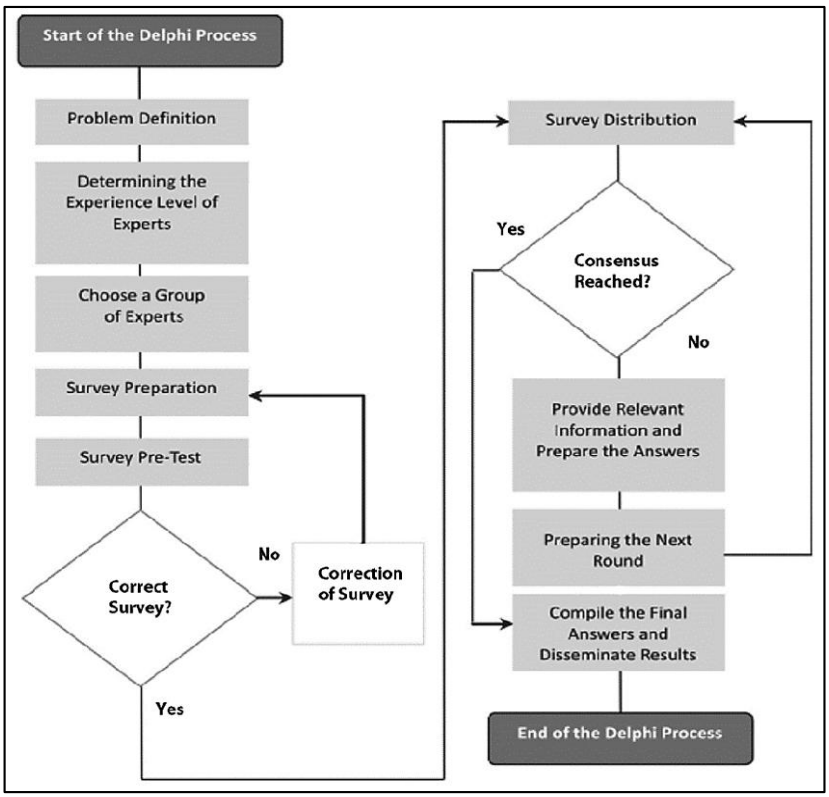

Fig. 1- Operational structure of the Delphi technique (Cipia et al., 2013)

شکل ۱- ساختار روش دلفی (Cipia et al., 2013)

۲-۲- اولویت‌بندی معیارها و انتخاب گزینه برتر

۲-۲-۱- فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) حالت عمومیِ از فرآیند سلسله‌مراتبی (AHP) بوده و به عبارتی دیگر شکل گسترده آن محسوب می‌شود که در آن موضوعات با وابستگی متقابل[۱۲] و بازخورد را نیز می‌توان در نظر گرفت (شکل ۲). این فرآیند، ویژگی‌های مثبت فرآیند سلسله‌مراتبی از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده و همچنین می‌تواند ارتباطات پیچیده میان عناصر تصمیم را با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای بـه جای ساختار سلسله‌مراتبی در نظر گیرد.

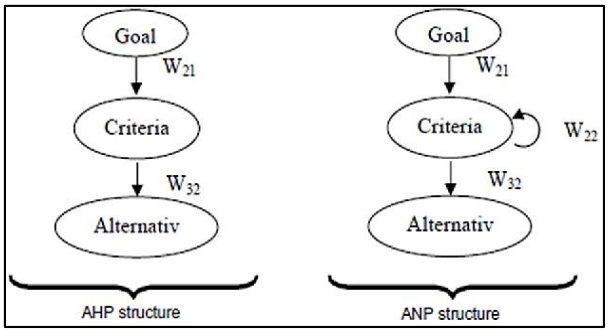

Fig. 2- Comparison of AHPand ANP structure

شکل ۲- مقایسه ساختار تحلیل سلسله‌مراتبی و شبکه‌ای

فرآیند تحلیل شبکه‌ای، هر موضوع و مسأله‌ای را به صورت شبکه‌ای از معیارها (و زیرمعیارها) و گزینه‌ها که با یکدیگر در خوشه‌هایی[۱۳] جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند به هر شکل، دارای ارتباط با یکدیگر باشند. بـــه عبارت دیگر، در یک شبکه، بازخـــورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است (Melon et al., 2008). بنابراین فرآیند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان متشکل از دو قسمت سلسله‌مراتب کنترلی[۱۴] و ارتباط شبکه‌ای[۱۵] در نظر گرفت. سلسله‌مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تاثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خـــوشه‌ها را شامل می‌شـود. فرآیند تحلیل شبکه‌ای را می‌تـــوان در چهار مـرحله خلاصه کـــرد (Carlucci and Schiuma, 2008):

۱- ساخت مدل و تبدیل مسأله (موضوع) در این مرحله مسأله مورد نظر به یک ساختار شبکه‌ای که در آن گره‌ها به عنوان خوشه‌ها مطرح هستند، تبدیل می‌شود. عناصر درون یک خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشند و یا تحت تأثیر آن‌ها بوده یا روی آن‌ها اثرگذار باشند (وابستگی بیرونی). همچنین ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان دارای ارتباط متقابل باشند (وابستگی درونی[۱۷]).

۲- تشکیل ماتریس مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت: در این مرحله، عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها، بر اساس میزان اهمیت آن‌ها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. خود خوشه‌ها نیز براساس نقش و تأثیر آن‌ها در دستیابی به هدف، دوبه‌دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. تصمیم‌گیران در مورد مقایسه دودویی عناصر و یا خود خوشه‌ها دوبه دو باید تصمیم‌گیری کنند. علاوه براین، وابستگی‌های متقابل بین عناصر یک خوشه نیز باید دوبه‌دو مورد مقایسه قرارگیرند. تأثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل ارائه است. اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس نه کمیتی ساعتی سنجیده می‌شود (جدول ۱).

Table1- Relative scores for pairwise comparisons (Saaty, 1996)

جدول ۱- مقیاس‌های اهمیت بـــرای مقایسات زوجی (Saaty, 1996)

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance
3	Slightimportance
5	Moderate importance
7	Verystrong importance
9	Extreme importance
2,4,6,8	Intermediate Values between two adjacent values

در این قسمت، بردار اهمیت داخلی[۱۸] محاسبه می‌شود که نشانگر اهمیت نسبی (ضریب اهمیت) عناصر یا خوشه‌ها است که از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\mathbf{AW}=\lambda_{max}\mathbf{W} \qquad (۱)$$

که در آن A ماتریس مقایسه دودویی معیارها، W بردار ویژه (حاصل از تقریب میانگین هندسی) و λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه عددی است.

۳- تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد: برای دستیابی به اولویت‌های کلی[۱۹] در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت‌های داخلی (یعنی Wهای محاسبه شده) در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. در نتیجه، یک سوپر ماتریس (در واقع یک ماتریس تقسیم‌بندی شده[۲۰]) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، به دست می‌آید. به عنوان مثال در یک ساختار سه سطحی هدف، معیارها و گزینه‌ها مطابق شکل ۲، سوپر ماتریس مربوط به حالت سلسله‌مراتبی (a) را می‌توان به‌شرح رابطه (۲) می‌باشد.

$$\mathbf{W}_n=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & W_{22} & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix} \quad (۲)$$

که در آن W_n سوپرماتریس اولیه، W_{21} بردار اثرات هدف بر روی معیارها، W_{22} بردار تأثیرات متقابل معیارها بر یکدیگر، W_{32} بردار اثرات معیارها بر روی گزینه‌ها و I ماتریس واحد است.

با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در سوپر ماتریس اولیه، سوپر ماتریس ناموزون[۲۱] به‌دست می‌آید.در مرحله بعد، سوپر ماتریس موزون[۲۲] از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای[۲۳] محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه‌کردن سوپر ماتریس موزون، سوپرماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی[۲۴] تبدیل می‌شود. در مرحله سوم (نهایی)، سوپر ماتریس حد[۲۵] با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی[۲۶] حاصل شود (از طریق تکرار[۲۷]) یا به عبارت دیگر تمامی عناصر سوپرماتریس همانند هم شوند، محاسبه می‌شود:

$$\lim_{K\to\infty}(\mathbf{W})^K \quad (۳)$$

۴- انتخاب گزینه برتر: اگر سوپر ماتریس تشکیل شده در مرحله سوم، کل شبکه را در نظر گرفته باشد، یعنی گزینه‌ها نیز در سوپر ماتریس لحاظ شده باشند، اولویت کلی گزینه‌ها از ستون مربوط به گزینه‌ها در سوپر ماتریس حد نرمالیزه شده قابل حصول است. گزینه‌ای که بیشترین اولویت کلی را داشته باشد، به عنوان برترین گزینه برای موضوع مورد نظر انتخاب می‌شود.

۳- مدل‌سازی

در این تحقیق، مدل تحلیل شبکه‌ای و سلسله‌مراتبی در سه سطح هدف، معیارها و گزینه‌ها طراحی شدند. بدین منظور معیارها شامل هشت معیار اصلی به‌دست آمده از روش دلفی بوده و گزینه‌های انتقال نیز شامل چهار نوع مصارف مختلف در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که اولویت‌بندی معیارها و انتخاب گزینه برتر بر اساس سه مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، تحلیل شبکه‌ای (بازخورد میان معیارها و گزینه‌ها) و تحلیل شبکه‌ای (ارتباط درونی معیارها و بازخورد میان معیارها و گزینه‌ها) هستند (اشکال ۳، ۴ و ۵).

همان‌طور که در مدل سلسه‌مراتبی مشاهده می‌شود (شکل ۳)، ارتباط بین هدف، معیارها و گزینه‌ها به صورت خطی، یک‌طرفه و از بالا به پایین است، به‌طوری که مقایسات دوبه‌دوی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر با توجه به سطح بالاتر (هدف) بوده و مقایسات ارجحیت دوبه‌دوی گزینه‌ها نسبت به یکدیگر نیز با توجه به سطح بالاتر (معیارها) می‌باشد. این در حالی است که در مدل شبکه‌ای با بازخورد (شکل ۴)، ارتباط بین هدف و معیارها به صورت خطی و از بالا به پایین است، به‌طوری که مقایسات دوبه‌دوی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر با توجه به هدف بوده ولی ارتباط بین معیارها و گزینه‌ها دوطرفه می‌باشد. در رابطه دوطرفه (بازخورد)، علاوه بر مقایسه ارجحیت گزینه‌ها نسبت به یکدیگر با توجه به هر معیار، اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر با توجه به هر گزینه بررسی می‌شود.

تفاوت مدل شبکه‌ای با ارتباط درونی معیارها و بازخورد با مدل شبکه‌ای با بازخورد (شکل ۵)، تنها به خاطر در نظر گرفتن ارتباط بین معیارها بوده که سبب ایجاد مقایسات زوجی بین آن‌ها می‌شود. به عنوان نمونه در مورد دو معیار زیست‌محیطی و مالی و اقتصادی، کدام یک و به چه میزان دارای اهمیت بیشتر و یا رقیب جدی‌تر در ارزیابی و انتخاب طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای نسبت به معیار اجتماعی و فرهنگی هستند.

۳-۱- نرم‌افزار Super Decision

این نرم‌افزاریکی از نرم‌افزارهای بسیار مهم و پرکاربرد برای تحلیل فرآیند تحلیل شبکه‌ای و سلسله‌مراتبی به شمار می‌رود. داده‌های حاصل از تکمیل پرسشنامه‌های طراحی شده که متناسب با هر سه مدل طراحی شده بودند و توسط ۲۰ نفر از خبرگان تکمیل شدند، به صورت میانگین نظرات در نرم‌افزار وارد شدند. لازم به ذکر است که نرخ ناسازگاری که شاخصی جهت ارزیابی میزان سازگاری پاسخ‌های خبرگان به مقایسات زوجی و اعتبارسنجی به پاسخ‌دهی آن‌ها است، در تمامی پرسش‌نامه‌ها کم‌تر از ۰/۱ بوده و به طور میانگین ۰/۰۷۵ می‌باشد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج مدل سلسله‌مراتبی

نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد که طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای که با هدف تأمین آب آشامیدنی و بهداشتی با اختلاف قابل توجهی از سایر گزینه‌های انتقال (در حدود ۴۰ درصد) در اولویت‌اول قرار داشته و گزینه اول و برتر طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای از نگاه خبرگان می‌باشد. این در حالی است که گزینه‌های انتقال آب با اهداف کشاورزی، صنعتی و محیط زیستی به ترتیب در رتبه‌های دوم، سوم و چهارم قرار دارند. این مسأله نشان می‌دهد که نظر خبرگان نتیجه به‌دست آمده در مورد گزینه برتر، مطابق با قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی (بخش ۸- آب، بند خ)، سیاست‌های وزارت نیرو

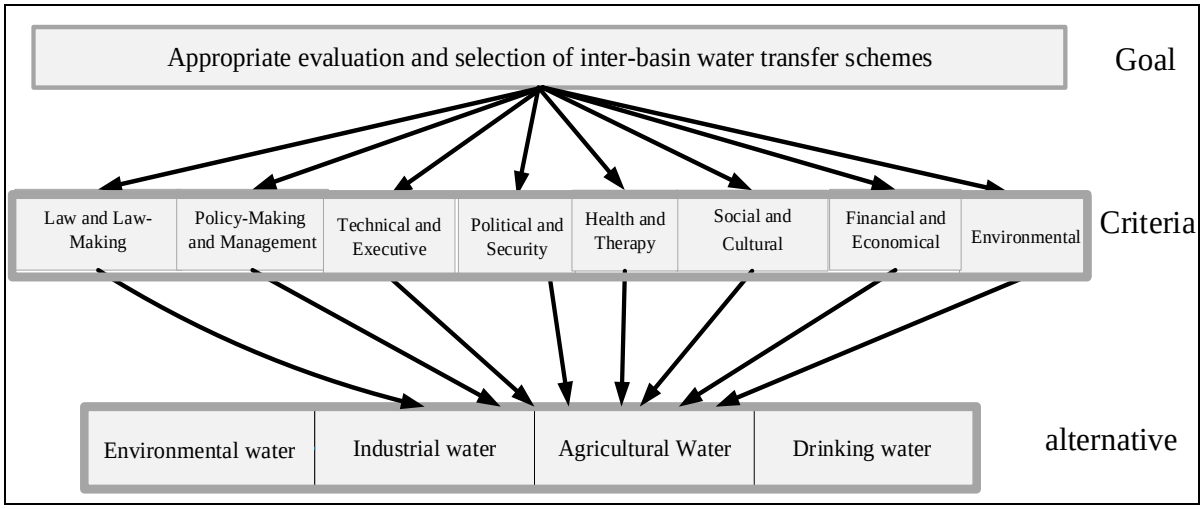

Fig. 3- Analysis hierarchical process model (AHP)

شکل ۳- مدل سلسه‌مراتبی (AHP)

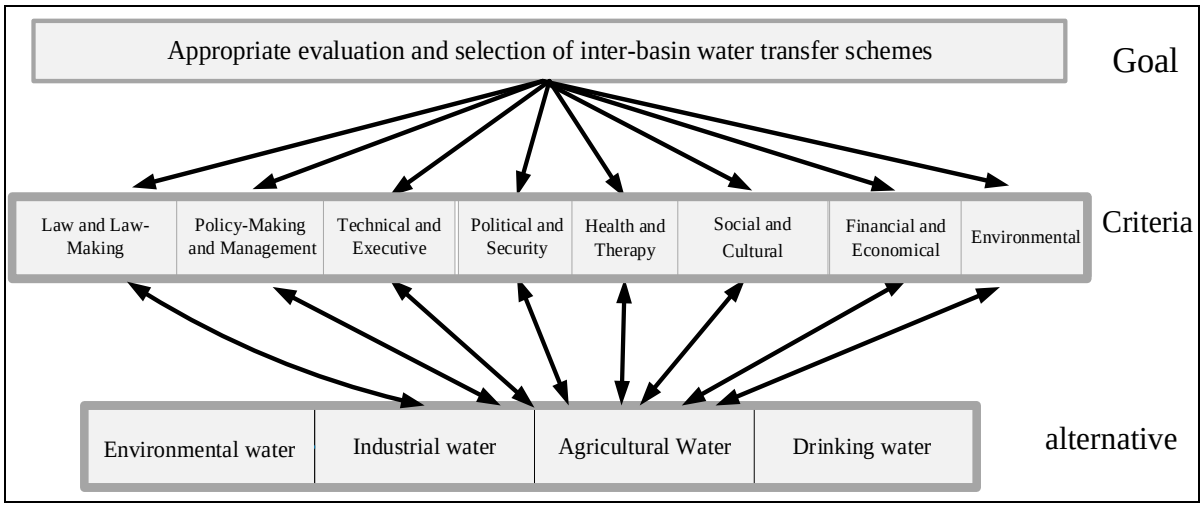

Fig. 4- Network analysis model with feedback between alternative and criteria

شکل ۴- مدل تحلیل شبکه‌ای با فرآیند بازخورد گزینه‌ها و معیارها

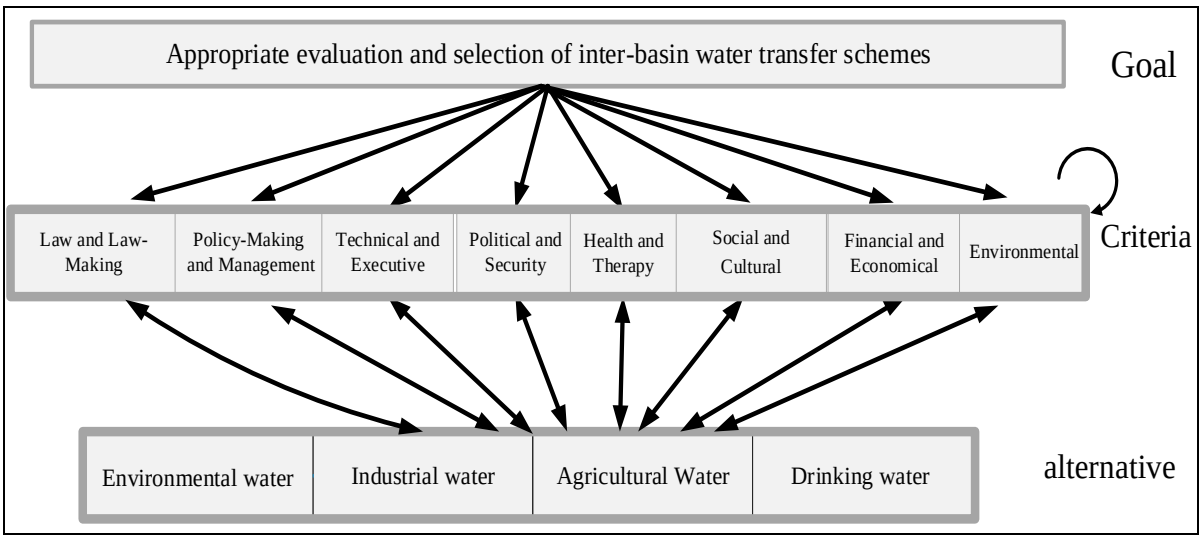

Fig. 5- Network analysis model with feedback and internal relation of criteria

شکل ۵- مدل تحلیل شبکه‌ای با فرآیند بازخورد و ارتباط درونی معیارها

و سازمان محیط زیست کشور است که استحصال آب و انتقال آن با اولویت تأمین آب شرب می‌باشد. از دیگر نتایج مهم به‌دست آمده می‌توان به اولویت‌دار بودن گزینه انتقال آب کشاورزی نسبت به گزینه آب صنعتی با اختلاف بسیار اندک یک درصدی اشاره کرد. البته به نظر می‌رسد که این مسأله مغایر با سیاست‌های فعلی آبی کشور است چرا که انتقال آب بین حوضه‌ای به منظور تأمین آب کشاورزی ممنوع بوده و در صورت ضرورت، تأمین آب صنعتی در کنار تأمین آب شرب در اولویت می‌باشد.

در اولویت‌بندی هشت معیار اصلی در روش سلسله‌مراتبی (شکل ۷)، مشاهده می‌شود که معیار سیاسی و امنیتی با اختلاف زیادی (اختلاف ۱۸ درصدی) نسبت به اولویت دوم (معیار بهداشتی و درمانی)، از اهمیت و اولویت بالایی در ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای قرار دارد. این مسأله نشان می‌دهد که پیامدهای اجرای این‌گونه طرح‌ها از این به بعد مختص به مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی و فرهنگی نبوده و بلکه آثار آن، مسائل سیاسی و امنیتی کشور که شاید مهم‌ترین شاخصه آن امنیت ملی و ثبات سیاسی است را تحت تأثیر قرار داده است. گواه این مطلب می‌تواند تلفات جانی و مالی ناشی از تنش‌ها و اعتراضات شهری و استانی (اصفهان و خوزستان) به کمبود آب و تخصیص ناصحیح آن به حوضه‌های مبدأ در سالیان اخیر در نواحی مختلف کشور باشد. به همین دلیل در هر طرح انتقال آب بین حوضه‌ای که مطرح می‌گردد، به‌نظر می‌رسد که ارزیابی دقیق و همه‌جانبه تبعات سیاسی و امنیتی بایستی در اولویت قرار گیرد.

از طرفی معیارهای بهداشتی و درمانی و محیط زیستی نیز با اختلاف بسیار اندک (۱ درصد) در اولویت‌های دوم و سوم قرار دارند. از نکات بسیار مهم دیگر، اهمیت معیار سیاست‌گذاری و مدیریتی است که بدون اختلاف با معیار فرهنگی و اجتماعی، در اولویت چهارم قرار دارد. این مسئله نشان می‌دهد که سیاست‌گذاری در این‌گونه طرح‌ها و حتی سایر طرح‌های منابع آبی، مورد نظر خبرگان قرار داشته، چرا که می‌تواند سبب اتخاذ تصمیمات صحیح و یا نادرستی در این حوزه گردد.

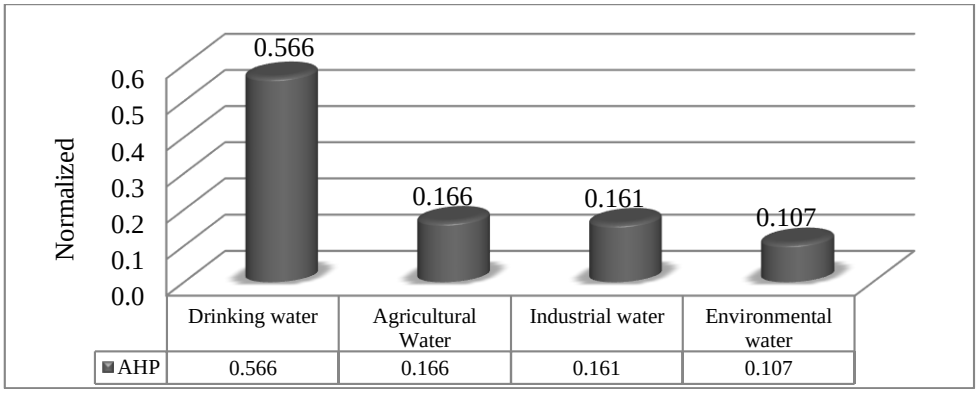

Fig. 6- Ranking ofinter-basin water transfer options (AHPmodel)

شکل ۶- رتبه‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مدل سلسله‌مراتبی)

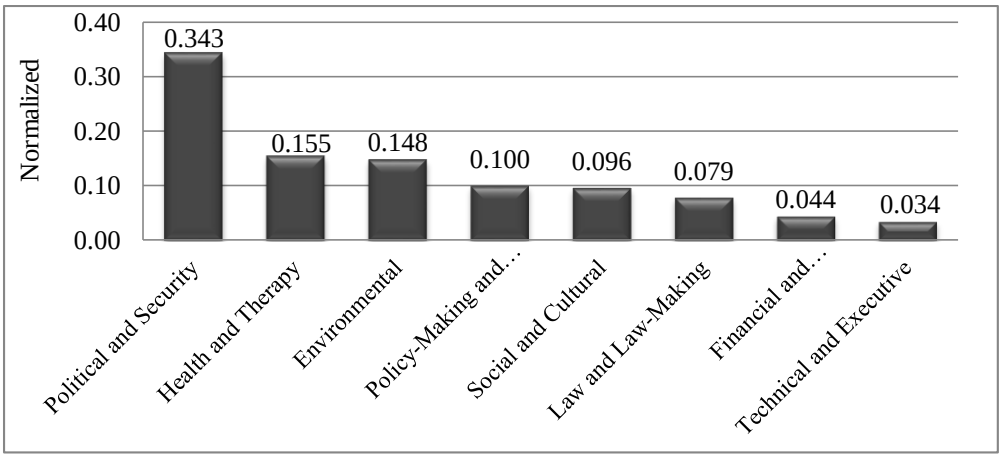

Fig. 7- Prioritization of criteria (AHP model)

شکل ۷- اولویت‌بندی معیارها (مدل سلسله‌مراتبی)

۴-۲- نتایج مدل شبکه‌ای با بازخورد

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، گزینه تأمین آب آشامیدنی و بهداشتی همانند مدل سلسله‌مراتبی بدون تغییر با ۵۶ درصد در رتبه اول قرار دارد. ولی گزینه انتقال آب صنعتی با اختلاف ۴ درصد نسبت به گزینه آب کشاورزی در رتبه دوم قرار گرفته است. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که مدل شبکه‌ای با بازخورد میان گزینه‌ها و معیارها، به دلیل کاربرد فرآیند بازخورد و ایجاد مقایسات بیشتر و دقیق‌تر در پرسش‌نامه خبرگان، نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌کند. این مطلب به این دلیل است که در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای که در حال حاضر مطرح هستند، هدف انتقال در ابتدا تأمین آب شرب بوده و یا به صورت ترکیبی آب صنعتی را نیز شامل می‌شوند (به عنوان مثال طرح انتقال دریای خزر به سمنان). لذا نتایج به‌دست آمده از این روش دقیق‌تر و مطابق با شرایط فعلی آبی کشور می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، تفاوتی در اولویت معیارهای اصلی نسبت به روش سلسله‌مراتبی مشاهده نمی‌شود.

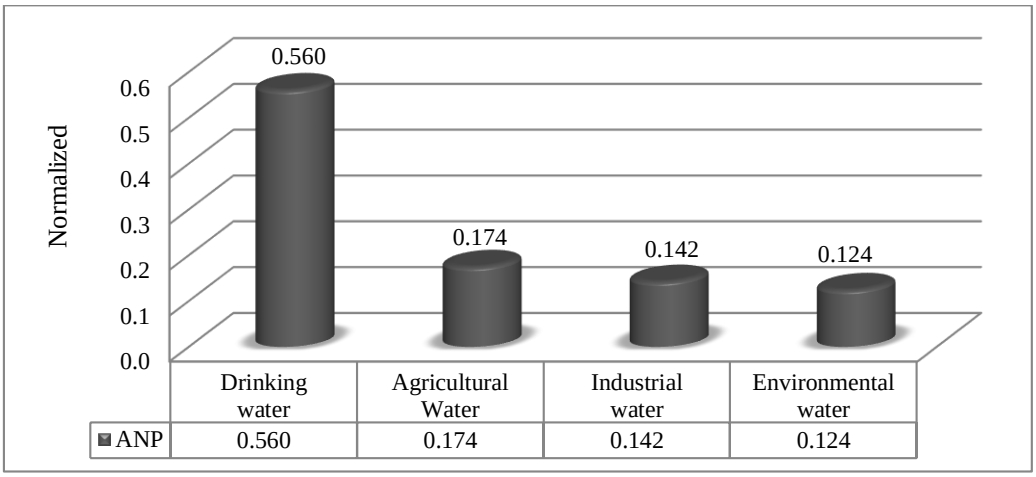

Fig. 8- Ranking of inter-basin water transfer options (ANP with feedback model)

شکل ۸- اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مدل شبکه‌ای با بازخورد)

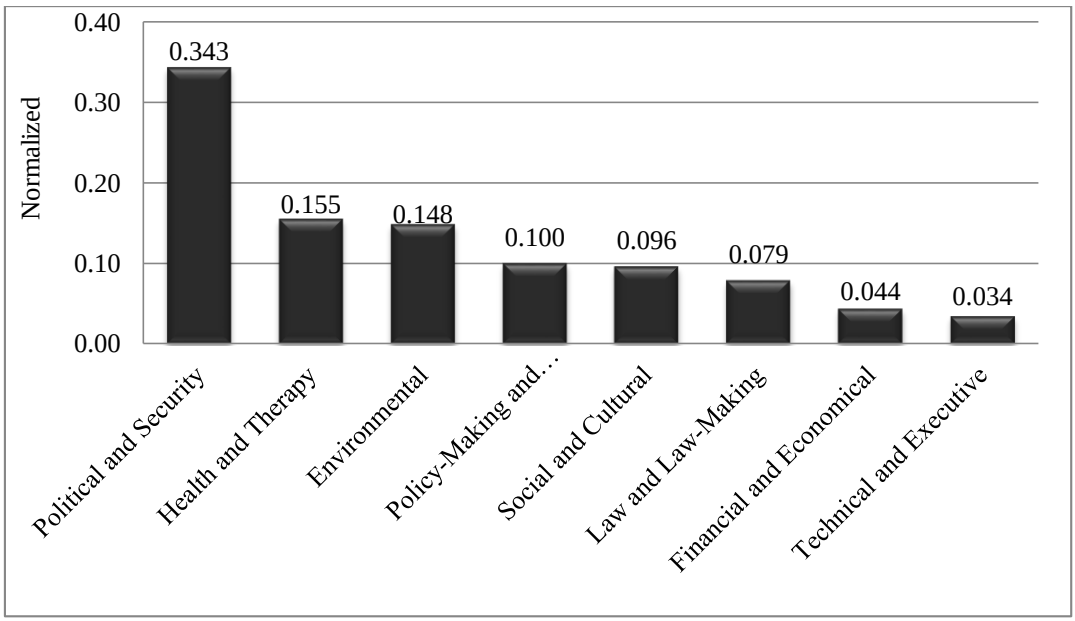

Fig. 9- Prioritization of criteria (ANP with feedback model)

شکل ۹- اولویت‌بندی معیارهای اصلی در انتقال آب بین حوضه‌ای (مدل شبکه‌ای با بازخورد)

۴-۳- نتایج مدل شبکه‌ای با بازخورد و ارتباط درونی معیارها

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، گزینه تأمین آب آشامیدنی و بهداشتی همانند مدل شبکه‌ای با بازخورد بدون تغییر با ۵۶ درصد در رتبه اول قرار دارد. ولی گزینه انتقال آب صنعتی با اختلاف اندک ۳ درصد نسبت به گزینه آب کشاورزی در رتبه دوم قرار گرفته است. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که مدل تحلیل شبکه‌ای با بازخورد میان گزینه‌ها و معیارها به همراه ارتباط درونی معیارها، همانند مدل تحلیل شبکه‌ای با بازخورد میان گزینه‌ها و معیارها بوده و تفاوت محسوسی ندارد. ولی نسبت به روش تحلیل سلسله‌مراتبی تفاوت آشکاری در جابه‌جایی گزینه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها دارد. همچنین در این مدل همانند دومدل قبلی، تفاوتی در اولویت‌بندی معیارهای اصلی اثرگذار در انتقال‌های آب بین حوضه‌ای وجود ندارد.

۴-۴- تحلیل حساسیت

به منظور تعیین چگونگی تغییر در اهمیت یک معیار و اثر آن بر گزینه‌های انتخابی، تحلیل حساسیت انجام گرفت به‌طوری که وزن هر معیار نسبت به چهار گزینه تأمین آب با توجه به ثابت بودن وزن سایر معیارها، از صفر تا یک تغییر پیدا کرد. وزن گزینه تأمین آب آشامیدنی و بهداشتی در هر سه مدل ۰/۵۶ می‌باشد؛ و شکل ۱۱ نشان می‌دهد که با افزایش وزن سه معیار سیاست‌گذاری و مدیریتی، اجتماعی و فرهنگی و مالی و اقتصادی به ترتیب بیش‌ترین کاهش وزن گزینه آب آشامیدنی و بهداشتی پدید خواهد آمد. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگر توجه بیشتری به اثر سیاست‌گذاری‌ها و پیامدهای اجتماعی و فرهنگی و هزینه‌های فراوانی که این‌گونه طرح‌ها می‌توانند داشته باشند، شود، ممکن است گزینه انتقال بین حوضه‌ای برای کلیه اهداف حذف شده و راهکارهای دیگری از جمله مدیریت مصرف، افزایش راندمان و بهره‌وری در حوضه مقصد استفاده گردد. از طرفی در صورتی که ضرورت دسترسی به آب سالم و حفظ ثبات اجتماعی و امنیتی مطرح باشد، وزن این گزینه بالا خواهد رفت که از آن جمله می‌توان به مشکلات امنیتی و تنش‌های اجتماعی پدید آمده در دسترسی به آب سالم و شرب در خوزستان (خرمشهر) اشاره کرد. در هر حال با تغییرات وزن معیارها از صفر تا یک، گزینه انتقال آب آشامیدنی و بهداشتی در شرایط حال و آینده در اولویت اول نسبت به سایر گزینه‌ها قرار دارد.

وزن گزینه انتقال آب صنعتی و کشاورزی در هر سه مدل نزدیک به هم بوده و در حدود ۰/۱۶ می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، در صورت افزایش وزن معیار اجتماعی و فرهنگی و همچنین مالی و اقتصادی، ارجحیت این دو گزینه نسبت به گزینه آب آشامیدنی و بهداشتی تغییری نخواهد کرد ولی وزن آن‌ها افزایشی می‌یابد. به عبارت دیگر در شرایطی که اهمیت مسائل اجتماعی و اقتصادی از جمله اشتغال، تولید و امنیت غذایی افزایش یابد، موضوع انتقال برای آب صنعتی و کشاورزی وزن بیشتری پیدا خواهد کرد. از طرفی برخلاف شکل ۱۱ که با افزایش وزن معیارهای اجتماعی و فرهنگی و سیاسی و امنیتی، وزن و ارجحیت گزینه انتقال آب شرب افزایش می‌یابد، در شکل ۱۲ این روند کاهشی بوده و وزن گزینه‌های آب صنعتی و کشاورزی کاهش می‌یابد. این مسأله می‌تواند به این خاطر باشد که گزینه آب آشامیدنی و بهداشتی به وزن و نقشی که معیارهای اجتماعی و فرهنگی و سیاسی و امنیتی در ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای دارند حساس بوده و با اهمیت‌تر نسبت به سایر گزینه‌های انتقال می‌باشد.

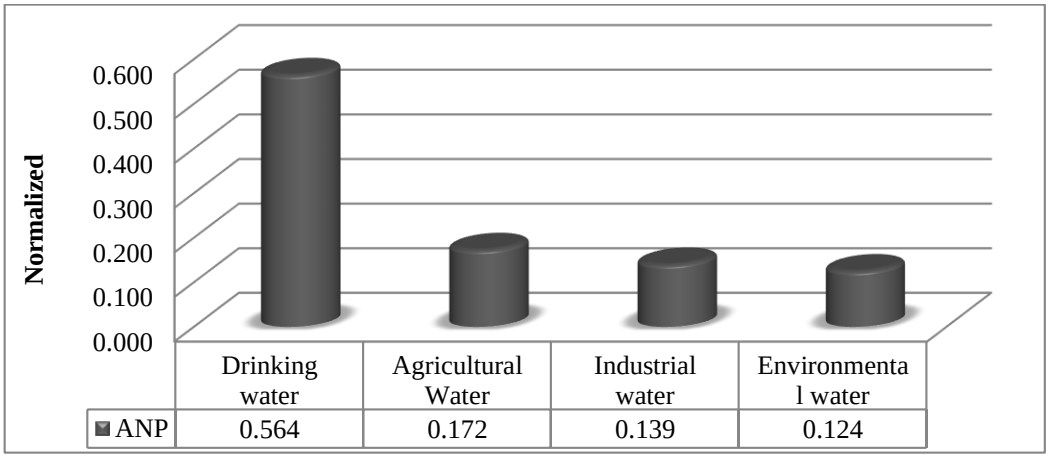

Fig. 10- Ranking of inter-basin water transfer options (ANP with feedback andcriteria internal relation)

شکل ۱۰- اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مدل شبکه‌ای با بازخورد و ارتباط درونی معیارها)

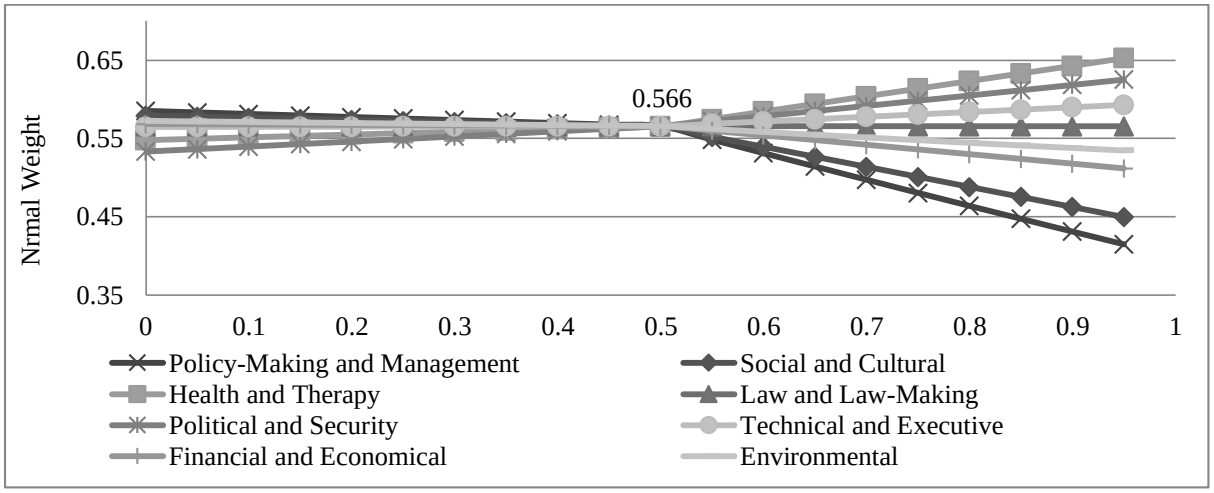

Fig. 11- Sensitivity analysis of criteria to drinking water option

شکل ۱۱- تحلیل حساسیت معیارها نسبت به گزینه آب آشامیدنی و بهداشتی

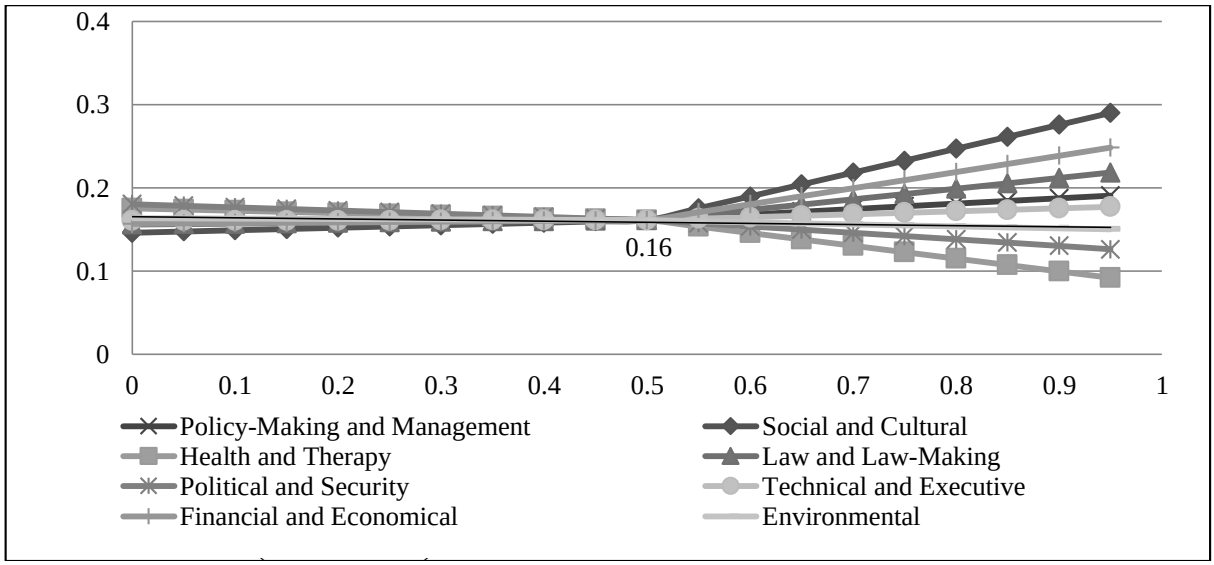

Fig. 12- Sensitivity analysis of criteria to industrial and agricultural water options

شکل ۱۲- تحلیل حساسیت معیارها نسبت به گزینه آب صنعتی و کشاورزی

۴-۵- جمع‌بندی نتایج

نتایج به‌دست آمده در این تحقیق را می‌توان به‌طور مختصر و به شرح ذیل خلاصه کرد:

۱- نتایج حاصل از این تحقیق بر مبنای نظرات طیف وسیعی از خبرگان با تخصص‌ها و سمت‌های اجرایی مختلف در حوزه آب کشور بوده است و لذا اگر دو معیار اصلی سیاسی و امنیتی و بهداشتی و درمانی در اولویت ارزیابی قرار گرفته‌اند، بر مبنای نگاه و تجربه تخصصی ایشان و با توجه به شرایط فعلی کشور و آثار و پیامدهای احتمالی آینده آن است که البته با توجه به شواهد موجود، در صورت ادامه ارزیابی این طرح‌ها به‌طور سطحی و غیردقیق، حتماً حوزه سیاسی و امنیت ملی کشور با چالش‌های جدی‌تری در آینده روبرو خواهد شد. به عبارت دیگر، معیارهای اصلی سیاسی و امنیتی و بهداشتی و درمانی در دسته‌بندی‌ها و زیرشاخصه‌های مختلفی در تحقیقات گذشته مورد توجه قرار گرفته اند ولی به صورت یک معیار مستقل و مجزا نبوده است. لذا توجه به این معیار از قبل هم بوده است ولی مورد توجه جدی قرار نداشته است. ولی اکنون و با توجه به شرایط کشور بسیار پر اهمیت‌تر شده و مورد توجه خبرگان به عنوان دو معیار اصلی و اثرگذار قرار گرفته‌اند.

۲- در نظر گرفتن معیارهای اصلی و جدید مانند سیاسی و امنیتی و بهداشتی و درمانی در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، نمی‌تواند یک محدودیت و مانع بر سر راه توسعه کشور و نگرانی سیاست‌گذاران باشد، بلکه سبب کامل‌تر شدن ارزیابی‌ها، کاهش ریسک اجرا و پایداری

طرح‌های منابع آبی خواهد شد. این مسأله در جهان نیز مرسوم بوده و حتی در بعضی از طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مانند طرح انتقال آب دریای سرخ[۲۸] به بحرالمیت[۲۹] بیش از ۱۰ سال است که معیارها و شاخصه‌های فراوانی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و تاکنون نیز طرح اجرایی نشده است.

۳- یکی از نتایج این تحقیق، قرار گرفتن معیار زیست‌محیطی با اختلاف بسیار کمی نسبت به معیار بهداشتی و درمانی (۱ درصد اختلاف)، در جایگاه سوم اولویت‌بندی معیارها است که این مسأله، بیانگر کم اهمیت بودن معیار زیست محیطی نیست چرا که هیچ طرح عمرانی بدون پیوست زیست‌محیطی و اجازه سازمان مربوطه، قابلیت اجرایی ندارد. شاید نظر خبرگان را بتوان این‌گونه تفسیر کرد که در طرح‌های چالشی انتقال آب بین حوضه‌ای، معیار سیاسی و امنیتی بسیار پر اهمیت شده که حتی اهمیت آن از جنبه‌های زیست‌محیطی نیز بیشتر است و لذا این طرح‌ها بایستی یک پیوست سیاسی و امنیتی به همراه تأییدیه عالی‌ترین نهاد امنیتی کشور (شورای امنیت ملی) داشته باشد.

۴- با توجه به شرایط آبی کشور و وضعیت مدیریت مصرف و بهره‌وری آب، به نظر می‌رسد که اجرای هر طرح انتقال آب بین حوضه‌ای در کشور بایستی منوط به ارزیابی دقیق معیارها و شاخصه‌های متعدد و توجه به آثار و پیامدهای کوتاه مدت و بلند مدت شود. البته باید توجه داشت که در صورت نبودن راهکارهای جایگزین جهت انتقال آب و در نهایت تصمیم نهایی به اجرای این طرح‌ها، اولویت اول انتقال باید آب آشامیدنی و بهداشتی باشد. همچنین از نگاه خبرگان و در صورت مطرح شدن اهداف ترکیبی با آب شرب، به نظر می‌رسد که آب صنعتی بایستی در اولویت بعدی قرار گیرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، الگوی شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای اصلی و اثرگذار در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه گردید. در ابتدا هفت معیار اصلی شناسایی گردیده بود که با کمک روش دلفی که مبتنی بر کسب وفاق جمعی نظرات کارشناسان است، به هشت معیار اصلی و اثرگذار افزایش پیدا کرد. این مسأله نشان‌دهنده اهمیت کارکرد این روش در شناسایی و تعیین معیارها و شاخصه‌های متعدد و اثرگذار در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای می‌باشد. دسته‌بندی معیارهای اصلی در این تحقیق مطابقت زیادی با سایر تقسیم‌بندی‌های طرح‌های منابع آب توسط سایر محققین دارد (Cox, 1999; Zarghami, 2005; Loucks, 2017) ولی در خصوص ۳ معیار اصلی سیاسی و امنیتی، بهداشتی و درمانی و حقوقی و قانون‌گذاری اشاره مستقیم و مجزایی نشده است. همچنین با توجه به اولویت بالای دو معیار سیاسی و امنیتی و بهداشتی و درمانی نسبت به سایر معیارها از نگاه خبرگان، به نظر می‌رسد که بایستی در ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای توجه جدی به آن‌ها شود تا از تبعات منفی احتمالی جلوگیری به عمل آید. البته لازم به ذکر است که در نظرگرفتن معیارهای جدید در ارزیابی این طرح‌ها به منزله ایجاد مانع و محدودیت جدید در توسعه طرح‌های منابع آب خصوصاً طرح‌های انتقال آب نخواهد بود، بلکه سبب افزایش دقت و کامل شدن ارزیابی‌ها در میان مدت و بلند مدت خواهد شد که در نهایت کمک به توسعه پایدار منابع آب خواهد نمود. در ادامه، نتایج حاصل از مدل‌سازی با روش ANP و AHP نشان می‌دهد که گزینه انتقال به منظور تأمین آب آشامیدنی و بهداشتی بایستی در اولویت اول اجرای این‌گونه طرح‌ها باشد. از طرفی با توجه به توجه به در نظرگرفتن بازخورد میان گزینه‌ها و معیارهاو ارتباط و وابستگی درونی معیارها در روش ANP، گزینه آب صنعتی از گزینه آب کشاورزی برتر بوده که این نتیجه‌گیری با توجه به ممنوعیت انتقال آب بین حوضه‌ای جهت تأمین آب کشاورزی، صحیح‌تر است. لذا کاربرد روش ANP نسبت به روش AHP در اولویت‌بندی معیارها و انتخاب گزینه برتر دقیق‌تر و مطمئن‌تر است. دقت در اولویت‌بندی معیارها و گزینه‌ها سبب خواهد شد که سیاست‌گذاری‌های صحیحی توسط تصمیم‌گیران حوزه آب انجام گیرد. همچنین گزینه آب محیط زیستی نیز در دو روش مذکور با اختلاف در رتبه آخر قرار دارد. این مسأله بدین معنا است که مطرح شدن انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران جهت تأمین و یا احیای محیط زیستی، اولویت کمتری داشته و لذا ارزیابی چنین طرح‌هایی (مانند طرح انتقال آب دریای خزر به دریاچه ارومیه) بایستی با ارزیابی همه‌جانبه‌تر و دقیق‌تری نسبت به سایر گزینه‌های انتقال انجام گیرد و یا راهکارهای مؤثر دیگری در این خصوص مطرح گردد.

پی‌نوشت‌ها

1- Inter-Basin Water Transfer (IBWT)
2- International Commission on Irrigation & Drainage (ICID)
3- The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)
4- Ogoki
5- Multiple Criteria Decision Making (MCDM)
6- Analytic Network Process (ANP)
7- Analytical Hierarchy Process (AHP)
8- Simple Weighted Averaging (SWA)
9- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
10- Feedback

11- Delphi
12- Outer Dependence
13- Cluster
14- Control Hierarchy
15- Network Relationship
16- Nominal Group Technique (NGT)
17- Inner Dependence
18- Local Priority Vector
19- Global Priorities
20- Partitioned Max
21- Unweighted Super Matrix
22- Weighted Super Matrix
23- Cluster Matrix
24- Stochastic
25- Limit Super Matrix
26- Convergence
27- Iteration
28- Red Sea
29- Dead Sea

۶- مراجع

Abrishamchi A, Tajrishy M (2005) Interbasin water transfers in Iran. In:Proc. of Water Conservation, Reuse and Recycling: Proceedings of an Iranian-American Workshop. Office for Central Europe and Eurasia Development, Securityand Cooperation, National Research Council ISBN: 0-309-54502-1, 292 p

Agrell P, LenceB, Stam A (1998) An interactive multicriteria decision model for multipurpose reservoir management: The Shell Mouth reservoir. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 7(2):61-86

Alibeygi J, Jalalian H, azizpour F, mahdizadeh H (2018) Identifying the key factors of the future studies on effects of implementation of the Sirvan river water transformation (the arid areas project) on the locational-spatial changes (Case study: Mehran county- Ilam province). Iran-water Resources Research 14(3):118-132 (In Persian)

Arab S, Hashemi SR (2013) Consequences of inter-basin water transfer schemes. In: Proc. Of Second National Conference on Water Crisis, Shahrekord University, Iran (In Persian)

Bakhtiari M, Fathi Moghaddam A (2012) Inter-basin water transfer and sustainable development. In: Proc. OfNational Conference on Inter-Basin Water Transfer (Challenges and Opportunities), Shahrekord Azad University, Iran (In Persian)

Bhattarai M, Molden D, Pant D (2002) Socio-economics and hydrological impacts of inter-sectoral and inter-basin water transfer decisions. Melamchi Water Transfer Project in Nepal, Asian Irrigation in Transition Responding to the Challenges ahead, April 22-23, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand

CarlucciD, Schiuma G (2008) Applying the analytic network process to disclose knowledge assets value creation dynamics. Expert Systems with Applications 36(4):7687-7694

ChangN, When C, ChenY (1997) A fuzzy multi-objective programming approach optimal management of the reservoir watershed. European Journal of Operational Research 99(2):289-302

Çipia A, Lilacib S, Ferreira F (2013) Current situation of corporate governance practices in Albanian Joint stock companies: a delphi-based approach. Journal of Procedia and Social and Behavioral Sciences 110:841-851

Cole D, Carver WB (2011) Inter-basin transfers of water. Georgia Water Resources Conference, April 11–13, University of Georgia

Cox W (1999) Determining when inter basin water transfer is justified: criteria for evaluation. International Workshop on IBWT, UNESCO, Paris

Day JC, Bridger KC, Peet SE, Friesen BF (1982) Northwestern Ontario river dimensions. Journal of Water Resources 18(2):297-305

Melon G, Javier M, Onate F, Aznar-Bellver J, Aragonés-Beltran P, Poveda-Bautista R (2008) Farmland appraisal based on the analytic network process. Journal of Global Optimization 42(2):143-155

Ghassemi F, White I (2007) Inter-basin water transfer: Case studies from Australia. United States, Canada, China and India. Cambridge University Press, 435p

LoucksD (2017) Water resource systems planning and management. Springer, 211 p

Ludwig L, Starr S (2005) Library as place: results of a delphistudy. Journal of theMedical Library Association 93(3):315-326

Mansouri R, Torabi H, Haghiabi AH, Yonesi HA (2017) Integrated optimization and simulation of hydraulic and water resources using developed dynamic programming (Case study: central Plateau in Iran). Iran-Water Resources Research 13(1):53-68 (In Persian)

Nevada (1992) Interbasin and intercounty transfers, Division of Water Planning

Pittock J, Meng J, Ashok K (2009) Interbasin water transfers and water scarcity in a changing world a solution or a pipedream. Organization ofWorld Wide Fund for Nature, Germany, 16p

Rahimi M, Solaimani K (2017) Remotesensing and GISbased assessment groundwater potential zones

SamadiBoroujeni H, Saeedinia M (2013) Study on the impacts of inter-basin water transfer: northern Karun.Journal of African Agricultural Research 8(18):1996-2002

Yuexian X, Jialian H (1983) Impact of water transfer on the natural environmental long distance water transfer: a Chinese case study and international experiences. Water Resources 432 p

Zarghami M (2005) Uncertain criteria in ranking interbasin water transfer projects in Iran. 73rd Annual meeting of ICOLD, 1-6 May, Tehran, Iran

Zarghami M, Ehsani I (2011) Evaluation of different group multi-criteria decision making methods in selection of water transfer projects to Urmia lake basin. Iran-Water Resources Research 7(2):1-14 (In Persian)

Zebardast A (2011) Applying of AHP in urban and regional planning. Fine Arts Magazine 10:12-22 (In Persian)

mapping using multi-criteria decision making technique. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 10(35):27-38 (In Persian)

Rezaei M, Basirzadeh HA (2011) Evaluation of water transfer project aspect of national security with an emphasis on sustainable development and land use planning, river engineering. In: Proc. of Ninth International Seminar, Shahid Chamran University, Ahvaz, IRAN (In Persian)

Saaty TL (1980) The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill International Book Company, New York, 287p

Saaty TL (1996) Decision making with dependence and feedback: the analytic network process. Pittsburgh, RWS Publications, 370p

Sadeghi S, Kazemi Kia S, Kheirfam H, Hazbavi Z (2016) Experiences and consequences of inter-basin water transfer worldwide. Iran-Water Resources Research 12(2):120-140 (In Persian)