تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال یازدهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴
Volume 11, No. 1, Spring & Summer 2014 (IR-WRR)
۴۹-۶۱

طراحی ابعاد سیستم انتقال آب بین حوضه‌ای با لحاظ شاخص‌های تصمیم‌گیری در حوضه‌های آبریز مبدأ و مقصد

یوسف رؤفی[۱]، مجتبی شوریان[۲*] و جلال عطاری[۳]

چکیده

افزایش روز افزون نیاز به منابع آب برای تأمین مقاصد مختلف، مسئله دست‌یابی به آب شیرین را با مشکلات و محدودیتهای فراوانی روبرو کرده است. این مسئله در داخل کشور به دلیل عدم همخوانی توزیع مکانی منابع آب محدود و نقاط دارای سطح تقاضای آبی بالا، به صورت جدی‌تری مطرح می‌باشد. در این میان انتقال بین حوضه‌ای آب به عنوان راهکاری برای حل مشکل کمبود آب از دیرباز مطرح بوده است. وجود معیارها و عوامل اثرگذار مختلف و متعدد، مطالعه این طرح‌ها را بسیار دشوار نموده است. در تحقیق حاضر، طراحی مطلوب ابعاد یک سیستم انتقال آب بین حوضه‌ای در قالب مطالعه موردی طرح انتقال آب بهشت‌آباد از حوضه بالادست کارون به حوضه آبریز گاوخونی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی منابع آب MODSIM در قالب ۶ سناریو مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تئوری مجموعه‌های فازی، سناریوی مطلوب برای انتقال آب بهشت آباد انتخاب و بدین ترتیب توجیه‌پذیری و حجم آب قابل انتقال در این طرح مشخص شده است. نتایج مدل شبیه‌سازی نشان از وجود یک دوره خشک ۱۰ ساله در سری زمانی آورد رودخانه‌های حوضه آبریز دارد. لذا نتایج مطالعات در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک خشک نیز ارائه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به این موضوع، حجم قابل انتقال آب در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت در حدود ۱۹۰ و در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک خشک در حدود ۱۴۷ میلیون متر مکعب در سال به‌دست آمده است.

کلمات کلیدی: طراحی ابعاد سیستم انتقال آب بین حوضه‌ای، تصمیم‌گیری چند معیاره، تئوری مجموعه‌های فازی، طرح انتقال آب بهشت آباد

تاریخ دریافت مقاله: ۳ تیر ۱۳۹۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۱ مهر ۱۳۹۳

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی.
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی.
۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی.
*- نویسنده مسئول

Capacity Design of Inter-Basin Water Transfer Systems Considering Decision Making Criteria in the Source and the Target Basins

Y. Raoufi [1], M. Shourian [2] and J. Attari [3]*

Abstract

Increase of need to water resources in order to supply various demands has caused complicated limitations and problems in access to fresh water. In Iran this issue is serious due to unbalanced spatial distribution of limited water resources and high demand sites. Accordingly, for a long time the inter-basin water transfer has been a proposed approach to solve the problem of water shortage. Due to various decision making criteria and factors, studies of the inter-basin water transfer projects have been known as complex and difficult problems in literatures. In this research, optimum design of capacities for Behesht-Abad inter-basin water transfer system, from up-stream Karoun basin to Gavkhooni basin, has been studied through 6 possible scenarios using the river basin simulation model MODSIM. By applying multi-criteria decision making and fuzzy sets theory, the more beneficial scenario and justifiable volume of water transfer are selected. The simulation results show that there is a recent period of 10 year drought in basin's river flow time series. So, the results are also compared for the hydrological drought period in the basin. It is seen that when considering the normal long term time series for river discharges, volume of 190 MCM is a sustainable limit for studied inter-basin water transfer system. Considering the recent drought time series, this volume would be 147 MCM.

Keywords: Design of capacities for water transfer systems, Multi-criteria decision making, Fuzzy sets theory, Behesht-Abad water transfer plan.

Received: June 24, 2014
Accepted: October 13, 2014

1- M. Sc. Graduate, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Abbaspour College of Technology, Shahid Beheshti University.
2-Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Abbaspour College of Technology, Shahid Beheshti University, m_shourian@sbu.ac.ir
3-Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Abbaspour College of Technology, Shahid Beheshti University.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

توزیع غیر یکنواخت زمانی و مکانی بارش و پراکنش ناهمگون پتانسیل منابع آب سطحی در سطح کشور از یک‌سو و رشد جمعیت و توسعه جوامع شهری و توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی از دیگر سو، مسئله کمبود آب برای مصارف شرب، صنعت، کشاورزی را در برخی از نقاط کشور پررنگ‌تر نموده است. با توجه به این کمبودها، در برخی از مناطق کشور که شرایط خشک‌سالی‌های طولانی، وضعیت به‌مراتب وخیم‌تر می‌شود و از طرفی وجود حوضه‌های پرآب در برخی دیگر از مناطق کشور، سبب می‌شود که گزینه انتقال آب در دستور کار قرار گیرد. بنابه تعریف عام، انتقال میان حوضه‌ای عبارت است از انتقال حقابه‌ها یا انحراف آب (زیرزمینی یا سطحی) از حوضه‌ای به حوضه دیگر.

در تعریف مشخص‌تر انتقال آب که متأثر از رویکرد بازاری و چارچوب‌های حقوقی و قوانین آب در برخی ایالت‌های آمریکاست، چنین بیان می‌شود: تغییر موقت یا دراز مدت محل انحراف، مکان مصرف و یا نوع مصرف، به‌منظور انتقال یا مبادله آب و یا حقابه‌ها که منظور از انتقال موقت، یک سال و یا کمتر و انتقال دراز مدت، بیش از یک سال است. در تعریفی دیگر از این دست، بر داوطلبانه بودن انتقال آب تأکید می‌شود.

تغییر داوطلبانه در شیوه رایج توزیع آب در میان مصرف‌کنندگان (در واکنش به کمبود آب) است که به‌وسیله انتقال آب از حوضه پرآب به حوضه‌ای که در آن سال کمبود آب و جود دارد، انجام می‌شود. تردیدی نیست که انتقال آب می‌تواند در حوضه دریافت کننده منافع فراوانی را به ارمغان بیاورد، ولی انتخاب این گزینه مستلزم بررسی دقیق جنبه‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در فرایندی مشارکتی است (عرب و محمدولی سامانی، ۱۳۸۷).

انتقال بین حوضه ای آب از راهکارهایی است که امروزه به منظور رفع کمبود آب در مناطق خشک و کم باران به کار گرفته شده و تجربیات فراوانی توسط کشورهای مختلف در این زمینه به دست آمده است. در کشور ما نیز ناهمگونی و عدم توازن بین منابع و مصارف آب، مشکلات اساسی بر سر راه توسعه پایدار ایجاد نموده است. لذا در راستای حفظ منافع ملی و توسعه موزون کشور، انتقال بین حوضه‌ای آب می‌تواند در شرایط بررسی همه جانبه عوارض آن به‌عنوان یک راهکار تأمین آب به خصوص در مناطق خشک ایران مطرح گردد که در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب نموده است. در گزارشی به بررسی طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌ای آب در جهان و ایران پرداخته شده و در ادامه طرح انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی بررسی شده است (عرب و محمدولی سامانی، ۱۳۸۷). به دلیل محدودیت منابع مالی در طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب، در میان گزینه‌های موجود برای اجرای این طرح‌ها، باید یک گزینه که مطلوبیت بیشتری نسبت به دیگر گزینه‌ها دارد، انتخاب شود. این اولویت‌بندی باید با توجه به معیارهای مؤثر در طرح انتقال بین حوضه‌ای و شرایط حوضه انجام گیرد. تحقیقی توسط Zarghami (2005) در زمینه معرفی معیارهای ارزیابی طرح‌ها در ایران انجام شد که هدف آن استخراج درخت معیارها با در نظرگیری نظرات کارشناسان خبره در این زمینه بود. همچنین تحقیقات زیادی در راستای کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی طرح‌های منابع آب انجام شده است. Srdjevic et al. (2004) ارزیابی گزینه‌های مدیریت منابع آب را با استفاده از روش فازی انجام دادند. آنها برای شبیه‌سازی مطالعه موردی خود از مدل MODSIM استفاده کرده و از نتایج آن در تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده نمودند. رضوی و همکاران (۱۳۹۰) مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای گروهی فازی در اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب را انجام دادند. در این تحقیق از نظریه مجموعه‌های ماکزیمم و مینیمم، برای مطلوبیت نهایی هریک از گزینه‌ها استفاده گردید. تحقیق دیگری توسط Chen and Xu (2007) انجام شد که در آن دو روش برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در شرایط تصمیم‌گیری گروهی فازی معرفی شد. روش اول، روش Fuzzy TOPSIS بوده و روش دوم، روش جدیدی از تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای گروهی فازی را در شرایطی که اطلاعات وزن معیارها به‌طور کامل مشخص نباشد، نشان می‌دهد.

در این مقاله، پس از شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز مبدأ و مقصد در طرح انتقال آب بهشت‌آباد در مدل MODSIM، رفتار سیستم در هر یک از سناریوهای تعریف شده ممکن برای انتقال آب بررسی شده و مقادیر معیارهای مد نظر کمی‌سازی شده است. در ادامه، با وزن‌دهی معیارهای محاسبه شده بر اساس نظرات کارشناسان منابع آب ماتریس تصمیم‌گیری معیارها تشکیل شده و با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تئوری مجموعه‌های فازی، گزینه مطلوب انتقال آب بین حوضه‌ای در دو حالت هیدرولوژیک نرمال و خشک انتخاب گردیده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- MODSIM، مدل برنامه‌ریزی منابع آب در سطح حوضه آبریز

با افزایش روز افزون جمعیت و کمبود منابع آب شیرین در دسترس، مسئله مدیریت جامع منابع آب تنها با کاربرد مدل‌های توسعه یافته برنامه‌ریزی منابع آب در سطح حوضه آبریز میسر می‌باشد. امروزه مدل‌های شبیه‌سازی مختلفی برای مطالعه مسائل مرتبط با مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه آبریز وجود دارد که قادرند نظرات ذی‌نفعان را در فرآیند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در نظر بگیرند. کارهای تحقیقاتی زیادی در ارتباط با کاربرد این مدل‌ها در سطح حوضه آبریز انجام شده است. مدل شبیه سازی MODSIM یکی از مدل‌های برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب در سطح حوضه آبریز می‌باشد که کارایی و قابلیت‌های بسیاری داشته و در مطالعات زیادی از آن استفاده شده است. نبی‌نژاد و موسوی (۱۳۹۲) در تحقیقی، از تلفیق مدل MODSIM و PSO در تخصیص منابع آب استفاده کردند. در این مطالعه با استفاده از تلفیق الگوریتم بهینه سازی PSO و مدل تخصیص منابع آب MODSIM، رویکرد شبیه سازی- بهینه سازی برای مدل‌سازی مسئله تخصیص منابع آب حوضه‌ای توسعه داده شد. Shourian et al. (2007) به منظور تعیین سیمای بهینه منابع آب بالادست حوضه سیروان از تلفیق MODSIM (به عنوان یک شبیه‌ساز) و الگوریتم بهینه‌سازی هوش دسته ذرات (PSO) بهره گرفتند. ایشان از تلفیق الگوریتم PSO با MODSIM، مقادیر بهینه برای متغیرهای طراحی انتقال و بهره‌برداری را به‌دست آوردند. Rasi Nezami et al. (2013) با هدف تخصیص آب با کیفیت مطلوب به مصرف‌کنندگان در یک سیستم رودخانه و مخزن که در آن علاوه بر کمیت آب اختصاص داده شده به نیازها، کیفیت آب موجود در سیستم نیز مورد توجه قرار گرفته بود، مدل‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی را با یکدیگر تلفیق کرده و عملاً شبیه‌سازی کمی و کیفی سیستم رودخانه - مخزن را در داخل مدل شبیه‌سازی MODSIM انجام دادند.

MODSIM یک مدل اولویت- پایه (priority-based) شبیه‌سازی منابع آب در سطح حوضه آبریز است که برای حل مساله تخصیص منابع آب موجود در هر گام زمانی از یک الگوریتم بهینه‌سازی کارآمد استفاده می‌کند. این مدل یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) در مدیریت حوضه آبریز می‌باشد که از دهه ۱۹۷۰ به منظور شبیه‌سازی و بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب در حال توسعه بوده و از سال ۲۰۰۴ با ایجاد اصلاحات اساسی به یک مدل عمومی تعمیم یافته است. این مدل از روش برنامه‌ریزی شبکه جریان (Network Flow Programming) یا NFP برای بهینه‌سازی تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند. مدل MODSIM در تعدادی از سیستم‌های رودخانه‌ای پیچیده مانند حوضه آبریز رودخانه Plate در ایالت کالیفرنیا (Fredericks et al., 1998)، حوضه رودخانه Guiem در کره جنوبی (Labadie and Fontane, 2003) و تعدادی حوضه دیگر با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل مساله حداقل‌کردن هزینه شبکه جریان و به‌عبارتی تخصیص بهینه آب بین مصارف مختلف در هر گام زمانی حل می‌شود. فرمول‌بندی عمومی یک مدل NFP در هر گام زمانی به شکل زیر است:

$$Minimize \ \sum_{l\in A} c_l q_l \qquad (۱)$$

$$Subject\ to:$$

$$\sum_{j\in O_i} q_j - \sum_{k\in I_i} q_k = 0 \ ; \ \ for\ all\ i\in N$$

$$L_l \le q_l \le U_l; \qquad for\ all\ l\in A$$

که در این روابط A مجموعه تمامی بازوها در شبکه، N مجموعه تمام گره‌ها، O_i مجموعه تمام کانال‌های آغاز شونده از گره i (یعنی کانال‌های خروجی)، I_i مجموعه تمام کانال‌های پایان یابنده در گره i (یعنی کانال‌های ورودی)، q_l عدد صحیح نرخ دبی در کانال l، c_l ضریب هزینه، ضرایب وزنی و یا اولویت‌های تأمین در کانال l، L_l کران پایین و U_l کران بالای جریان در کانال l می‌باشد. در نبود مطالعات اقتصادی، ضرایب هزینه c_l با استفاده از مقادیر اولویت‌های نسبی تأمین نیازها که توسط کاربر تعیین می‌شوند، محاسبه می‌گردد.

۲-۲- مدل‌های اولویت‌بندی

مدل‌های اولویت‌بندی مورد استفاده در این تحقیق برای انتخاب گزینه مطلوب از میان سناریوهای تعریف شده، برنامه‌ریزی سازشی (CP)[۱]، TOPSIS[۲]، جمع وزنی ساده (SAW)[۳] و Fuzzy TOPSIS می‌باشند که در ادامه معرفی خواهند شد.

۲-۲-۱- روش برنامه‌ریزی سازشی

مبنای این روش مفهوم "ایده آل جابجا شده" است که توسط Zeleny (1973) ارائه گردیده است. در این روش اولویت‌بندی و امتیازدهی به گزینه‌ها، بر اساس فاصله‌ی آنها از نقطه نامطلوب انجام می‌گیرد. مطلوبیت هر گزینه با L_i نشان داده می‌شود که بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{\mathrm{i}} = \left[\sum_{j=1}^{m} w_j^p \left(\frac{x_{ij}-f_j^w}{f_j^*-f_j^w}\right)^p\right]^{\frac{1}{p}} \qquad (۲)$$

که x_{ij} مقدار عملکرد گزینه i ام از دید معیار j ام ، w_j^p وزن معیار j ام و m تعداد معیارهای موجود می‌باشد. f_j^* مقدار مطلوب برای معیار j در

بین تمام مقادیر ممکن برای گزینه‌ها و f_j^w مقدار نامطلوب برای معیار j در بین تمام مقادیر ممکن برای گزینه‌ها می‌باشد. p عاملی است که حساسیت تصمیم‌گیر به فاصله از نقاط آرمانی را از دید هریک از معیارها بیان می‌دارد. با $p = 1$ همه فاصله‌ها به اندازه وزن خود در نظر گرفته می‌شود و با $p = 2$، فاصله بزرگتر اثر بزرگتر دارد. برای $p = \infty$ بزرگترین اختلاف مدنظر بوده و تنها این اختلاف کمینه می‌شود.

۲-۲-۲- روش TOPSIS

این روش یکی از روش‌های فاصله محور می‌باشد که بوسیله‌ی Hwang and Yoon (1981) معرفی شد. در این روش گزینه‌ی انتخابی باید کوتاهترین فاصله از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله از جواب غیر ایده‌آل را داشته باشد. مراحل حل مسئله به صورت زیر است:

قدم اول: نرمال کردن ماتریس تصمیم:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad ; \quad i = 1,2,\dots,m \quad ; \quad j = 1,2,\dots,n \qquad (۳)$$

که x_{ij} مقدار عملکرد گزینه i ام از دید معیار j ام است. r_{ij} نیز مقدار نرمال شده‌ی x_{ij} می‌باشد.

قدم دوم: وزن دار کردن ماتریس تصمیم نرمال شده در مرحله قبل:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1,2,\dots,m \; ; \; j = 1,2,\dots,n. \qquad (۴)$$

که w_j وزن معیار j ام می‌باشد.

قدم سوم: تعیین جواب ایده‌آل A^* و غیر ایده‌آل A^- برای هر معیار:

$$A^* = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J') | i = 1,2,\dots,m\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\}. \qquad (۵)$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J') | i = 1,2,\dots,m\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}. \qquad (۶)$$

که در آن v_{ij} با توجه به رابطه (۴) به‌دست می‌آید. مقادیر $max_i v_{ij}$ و $min_i v_{ij}$ به ترتیب عبارتند از مقادیر بیشینه و کمینه v_{ij}. v_j^* و v_j^- به ترتیب برابر با مقادیر ایده‌آل و غیر ایده‌آل برای معیار j ام می‌باشند. J مربوط به معیارهای مطلوب و J' مربوط به معیارهای نامطلوب در مدل است.

قدم چهارم: برآورد مقدار فاصله هر گزینه تا جواب‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل:

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^*)^2} \; , i = 1,2,\dots,m \qquad (۷)$$

فاصله هر گزینه تا جواب ایده‌آل

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \; , i = 1,2,\dots,m \qquad (۸)$$

فاصله هر گزینه تا جواب ایده‌آل

قدم پنجم: رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبه نزدیکی نسبی هرگزینه به جواب ایده‌آل:

$$c_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^*} \; ; \; 0 \le c_i^* \le 1 \; ; \; i = 1,2,\dots,m \qquad (۹)$$

بدیهی است هرچه مقدار فاصله نزدیکی (c_i^*) بیشتر باشد، آن گزینه اولویت بالاتری خواهد داشت.

۲-۲-۳- روش جمع وزنی ساده

روش SAW به عنوان یکی از روش‌های زیر گروه نمره گذاری و امتیازدهی، ساده‌ترین و پر کاربردترین روش در تحلیل چند معیاره می‌باشد. در این روش همه‌ی معیارها به یک مقیاس متعارف تبدیل می‌شوند. این مقیاس معمولاً بین صفر و یک اختیار می‌شود که عدد یک نمایانگر بهترین عملکرد می‌باشد. انتخاب گزینه‌ها بر اساس u_i می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$u_i = \sum_{j=1}^{m} r_{ij} w_j \qquad (۱۰)$$

که در آن w_j وزن معیار jام می‌باشد به طوری که $0 \le w_j \le 1$، $\sum_{j=1}^{m} w_j = 1$ و r_{ij} مقدار نرمال شده عملکرد گزینه i برای معیار j می‌باشد.

۲-۲-۴- روش FUZZY TOPSIS

بسیاری از مسائل مربوط به مهندسی آب به طور گسترده‌ای با عدم قطعیت و عدم صراحت روبرو بوده و اطلاعات و داده‌های موجود در مورد آنها بسیار کم و محدود می‌باشد. تئوری مجموعه‌های فازی یکی از روش‌های مدل‌سازی سیستم‌هایی است که دارای پیچیدگی‌های زیاد بوده و داده‌های کافی از آنها موجود نمی‌باشد و یا اطلاعاتی که در مورد آنها در اختیار می‌باشد، مبهم و غیر صحیح است. اما باید توجه داشت که در این مورد، دقت مدل نیز کاهش می‌یابد. در این تحقیق در قسمت دوم اولویت‌بندی سناریوها از روش Fuzzy TOPSIS به عنوان یک روش فازی استفاده شده است. عملکرد روش Fuzzy TOPSIS مانند روش TOPSIS می‌باشد، با این تفاوت که تمام مراحل ذکر شده در روش TOPSIS روی اعداد فازی (در این تحقیق اعداد فازی مثلثی) انجام می‌شود.

۲-۳- مشخصات منطقه مورد مطالعه

طرح انتقال آب به فلات مرکزی ایران، با هدف انتقال آب رودخانه بهشت آباد به بعضی از مراکز جمعیتی فلات مرکزی ایران در استان‌های اصفهان، یزد وکرمان، در دو استان چهارمحال و بختیاری و اصفهان در دست مطالعه و بررسی است. در این مطالعه انتقال آب از حوضه بهشت‌آباد به حوضه زاینده رود مد نظر بوده و لذا دو حوضه بهشت‌آباد و زاینده‌رود به ترتیب به عنوان حوضه‌های مبدأ و مقصد در نظر گرفته شده‌اند. ورودی تونل انتقال بهشت‌آباد در محل سد بهشت‌آباد که پس از پیوستن دو رود کوهرنگ و بهشت‌آباد احداث خواهد شد و خروجی آن در محلی به نام چم‌آسمان بعد از سد زاینده‌رود در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ شمای کلی طرح انتقال آب بهشت‌آباد نشان داده شده است.

۲-۳-۱- اهداف طرح

یکی از مهمترین مشکلات حوضه زاینده‌رود استفاده بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی و افت شدید سطح آبخوان‌ها در این حوضه می‌باشد. با توجه به خشکسالی چند سال اخیر و کاهش میزان آب‌های سطحی از یک طرف و توسعه شهرها، صنایع و سطوح زیر کشت از طرفی دیگر، میزان برداشت آب از آبخوان‌ها در حوضه زاینده‌رود افزایش یافته و لذا کسری مخزن در این حوضه بسیار شدید شده و به حد بحرانی رسیده است. بر این اساس طرح انتقال آب از سرچشمه‌های حوضه کارون به حوضه گاوخونی مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس این مطالعات قسمتی از آب انتقالی به حوضه زاینده رود، برای تأمین نیاز شرب شهر اصفهان به تصفیه‌خانه باباشیخ فرستاده شده، قسمتی برای تأمین شرب شهر نائین و برای انتقال به اردکان یزد به مصرف رسیده و مابقی برای تأمین نیازهای کشاورزی و صنعت پایین‌دست و همچنین نیاز تالاب گاوخونی در نظر گرفته خواهد شد.

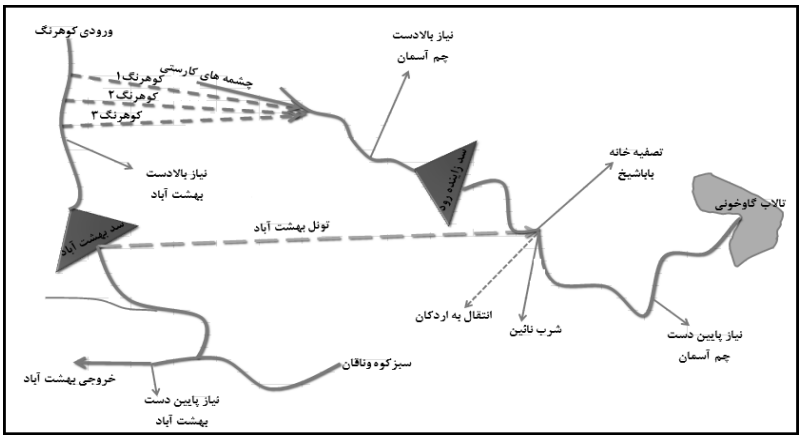
۳- یافته‌ها و نتایج

۳-۱- شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز مبدأ و مقصد طرح انتقال آب بهشت آباد

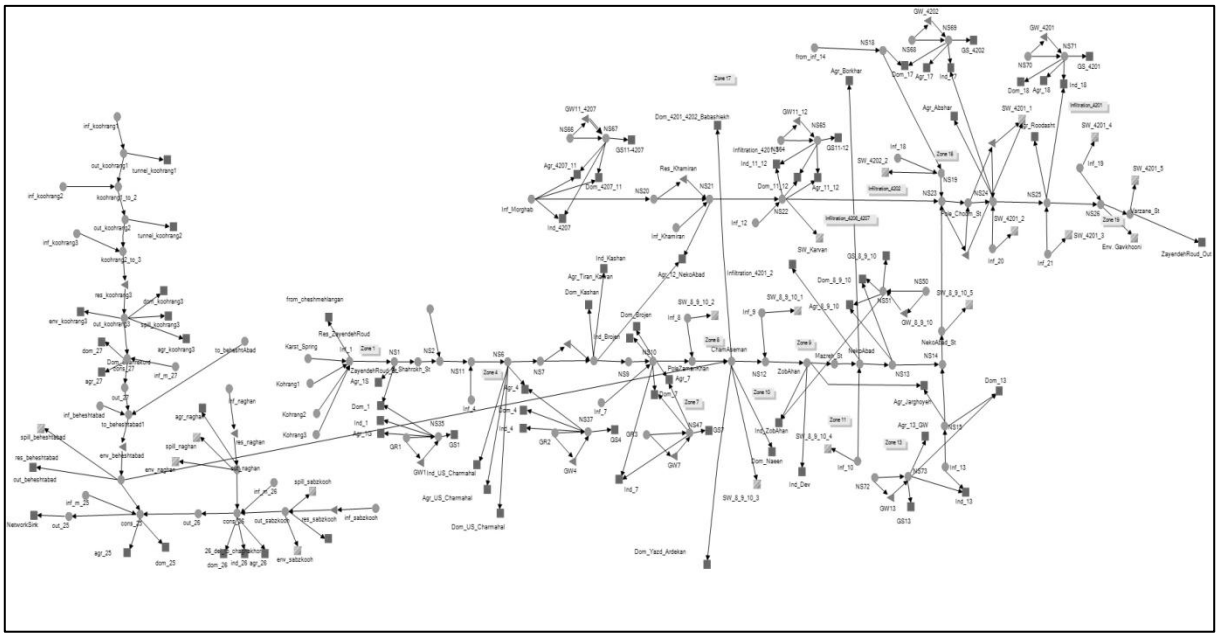
طرح انتقال آب بهشت‌آباد با توجه به مقادیر ورودی منابع آب و نیازهای شرب، صنعت وکشاورزی و زیست‌محیطی دو حوضه مبدأ و مقصد، با در نظرگیری شرایط موجود و بدون توسعه، در مدل MODSIM شبیه‌سازی و بر اساس مقایسه داده‌های آبدهی ایستگاه‌های حوضه آبریز طرح و نتایج مدل شبیه‌سازی واسنجی شد. سپس مدل با توجه به افق چشم‌انداز توسعه سال ۱۴۲۰ دو حوضه مبدأ و مقصد، توسعه داده شده و شبیه سازی صورت گرفت. با توجه به خشکسالی و کاهش چشم‌گیر منابع آب در چند سال اخیر، این کار با لحاظ دو دوره هیدرولوژیک بلند مدت (۴۰ ساله) و خشک (۱۰ سال اخیر) انجام گرفته و مطالعات مربوط به انتخاب سناریوی مطلوب انتقال آب برای هرکدام به صورت مجزا صورت پذیرفت. در تعریف سناریوها، قطر تونل انتقال به عنوان پارامتر متغیر در نظر گرفته شده و بدین ترتیب ۶ سناریو به شرح جدول ۱ تعریف شدند. همچنین در شکل ۲ توپولوژی سیستم تحت مطالعه پیاده سازی شده در مدل MODSIM ارائه شده است.

جدول۱- سناریوهای پیشنهادی طرح انتقال آب بهشت آباد

سناریو	قطر تونل (m)	ظرفیت انتقال (m^3/s)
۰	وضع موجود	۰
۱	۳	۱۴/۳
۲	۴	۲۵
۳	۵	۳۹
۴	۶	۵۶/۴
۵	۷	۷۶/۸



شکل۱- شمای کلی طرح انتقال آب بهشت‌آباد



شکل۲- توپولوژی سیستم تحت مطالعه پیاده سازی شده در مدل MODSIM

اولویت‌بندی تأمین نیازها در مدل بر اساس نظام نامه تخصیص وزارت نیرو و بصورت اولویت اول برای تأمین نیاز شرب، دوم نیاز زیست‌محیطی، سوم نیاز صنعت و چهارم نیاز کشاورزی در محدوده‌های مطالعاتی مختلف تعریف گردیده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی ۶ سناریوی تعریف شده در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت و دوره هیدرولوژیک خشک به شرح جداول ۲ و ۳ می‌باشد.

با توجه به جداول ۲ و ۳ می‌توان نتایج زیر را استنباط نمود:

جدول ۲- وضعیت تأمین نیازهای سالانه آبی (MCM) در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت (۴۰ ساله)

سناریو	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مبدأ	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مقصد	میزان کسری مخازن آب زیرزمینی در حوضه مقصد	میزان تأمین نیاز زیست محیطی در حوضه مبدأ	میزان تأمین حقابه تالاب گاوخونی در حوضه مقصد
صفر	۷۵/۸۲	۱۴۷۴/۴	-۲۲/۳۳	۲۶۸/۶	۱۶۲
اول	۷۵/۳۳	۱۵۵۸	-۱۸	۲۱۳/۵	۱۷۶/۵
دوم	۷۵/۱	۱۵۸۰/۸	-۱۸	۲۰۸	۱۷۷
سوم	۷۵	۱۵۸۰/۸	-۱۷/۵۲	۲۰۷/۴	۱۷۷
چهارم	۷۵	۱۵۸۲/۷	-۱۷/۵۲	۲۰۷/۱	۱۷۷/۵
پنجم	۷۴/۹	۱۵۸۲/۷	-۱۷/۱	۲۰۷/۱	۱۷۷/۷۵

جدول ۳- وضعیت تأمین نیازهای سالانه آبی (MCM) در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک خشک (۱۰ ساله)

سناریو	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مبدأ	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مقصد	میزان کسری مخازن آب زیرزمینی در حوضه مقصد	میزان تأمین نیاز زیست محیطی در حوضه مبدأ	میزان تأمین حقابه تالاب گاوخونی در حوضه مقصد
صفر	۵۶/۶۲	۱۴۴۲/۱	-۱۶۵/۳	۲۰۹	۱۴۸
اول	۵۴/۳۵	۱۵۱۴/۳	-۱۵۷/۲	۱۶۸/۵	۱۷۴/۲۵
دوم	۵۳/۶۲	۱۵۲۰	-۱۵۷/۲	۱۵۳/۹	۱۷۴/۲۵
سوم	۵۳/۶۲	۱۵۲۳/۸	-۱۵۶/۷	۱۵۲/۶	۱۷۴/۵
چهارم	۵۳/۵۴	۱۵۲۳/۸	-۱۵۶/۵	۱۵۱/۴	۱۷۴/۵
پنجم	۵۳/۴۶	۱۵۲۵/۷	-۱۵۵/۲	۱۵۱/۳	۱۷۴/۵

- با انتقال آب از حوضه بهشت آباد، میزان تأمین نیازهای آبی در این حوضه (حوضه مبدأ) در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت از مقدار ۷۵/۸۲ میلیون متر مکعب در سال در حالت بدون انتقال به مقدار ۷۵/۳۳ میلیون متر مکعب در سال در حالت انتقال آب با قطر تونل انتقال ۳ متر کاهش می‌یابد. این روند کاهش در بقیه سناریوها بسیار کندتر می‌باشد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که انتقال آب تأثیر زیادی در کاهش تأمین نیازهای آبی این حوضه که یکی از زیر حوضه‌های کارون بزرگ می‌باشد، نخواهد داشت.
- برخلاف حوضه بهشت‌آباد (حوضه مبدأ) در حوضه زاینده‌رود (حوضه مقصد) تأمین نیازهای آبی افزایش قابل توجهی داشته و تغییرات محسوس می‌باشند. همانطور که قبلاً اشاره شد عمده تأمین نیاز در نظر گرفته شده در این معیار، مربوط به شرب شهر اصفهان و شهر نائین می‌باشد که با انتقال آب بهشت‌آباد بهبود می‌یابند. با توجه به جدول ۳ میزان این تأمین‌ها در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت از مقدار ۱۴۷۴/۴ میلیون متر مکعب در سال در حالت بدون انتقال به ۱۵۵۸ میلیون متر مکعب در سال در حالت انتقال با تونل انتقال به قطر ۳ متر افزایش یافته است و این افزایش در سناریوهای بعدی نیز به چشم می‌خورد.
- همانطور که قبلاً اشاره شد یک از مشکلات حوضه زاینده رود به عنوان حوضه مقصد، مشکل بیلان منفی آبخوان‌های این حوضه می‌باشد. همانطور که در جداول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود با انتقال آب بهشت آباد، کسری مخازن آبخوان‌های این حوضه بهبود چشمگیری نداشته و تأثیر محسوسی بر وضعیت آبخوان‌های این حوضه ندارد.
- نتایج دو جدول ۲ و ۳ نشان می‌دهند که انتقال آب بهشت‌آباد تأثیر منفی قابل توجهی بر وضعیت زیست محیطی حوضه مبدأ داشته و میزان تأمین این نیاز را به صورت محسوسی کاهش می‌دهد.
- وضعیت تأمین حقابه تالاب گاوخونی با انتقال آب بهشت‌آباد تا حدودی بهبود یافته است اما با توجه به فاصله زیاد مکانی این تالاب تا محل ورود آب انتقالی بهشت آباد به حوضه زاینده‌رود، این بهبود چشمگیر نمی‌باشد.

۳-۲- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی سناریوهای انتقال آب بهشت آباد

پـــس از بررسی اثرات طرح انتقال آب بهشت‌آباد بر وضعیت تـأمین نیازهای آبی در دو حوضه مبدأ و مقصد، در ادامه ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره با توجه به معیارهای مؤثر انتخابی و نتایج مدل شبیه‌سازی شده مربوط به هر سناریو، تشکیل شده و سناریوها اولویت‌بندی خواهند شد.

معیارهای تصمیم‌گیری جهت انتخاب سناریوی برتر پس از نظرخواهی از تنی چند از کارشناسان صاحب نظر در وزارت نیرو و مشاورین طرح جامع آب کشور انتخاب گردیده است. وزن معیارها نیز با استفاده از پرسشنامه‌های روش تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه دو دویی معیارها که توسط کارشناسان ذکر شده تکمیل شده است محاسبه و در تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است که مقادیر آنها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول۴- معیارهای وزن‌دهی شده ماتریس تصمیم‌گیری

معیار	وزن معیار
درصد تأمین نیازهای آبی در حوضه مبدأ	۰/۲۴
درصد تأمین نیازهای آبی در حوضه مقصد	۰/۲۲
میزان کسری مخازن آب زیرزمینی در حوضه مقصد	۰/۲۳
میزان تأمین نیاز زیست محیطی در حوضه مبدأ	۰/۲۰
میزان تأمین حقابه تالاب گاوخونی در حوضه مقصد	۰/۱۸
سود خالص نسبی (معیار اقتصادی)	۰/۱۵

ارزش هریک از معیارها برای جایگزینی در ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

در معیارهای درصد تأمین نیازهای آبی در حوضه‌های مبدأ و مقصد، نسبت تأمین نیاز آبی (مصرف) هر حوضه به کل نیاز آبی آن حوضه در نظر گرفته شده است. در معیار میزان کسری مخازن آب زیرزمینی در حوضه مقصد، نسبت کسری آبخوانهای حوضه مقصد در طول دوره شبیه‌سازی به حجم اولیه آنها در نظر گرفته شده است. تالاب گاوخونی از جمله تالاب‌های بزرگ کشور می‌باشد که بر اساس مطالعات زیست محیطی طرح جامع آب کشور میزان حقابه آن برای آنکه حیات این تالاب حفظ شود در حدود ۲۵۰ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۲). لذا در معیار میزان تأمین حقابه تالاب گاوخونی، نسبت میزان تأمین این حقابه به این عدد لحاظ شده است. معیار سود خالص نسبی (Rational Net Benefit) با در نظرگیری سود حاصل از تأمین نیازهای آبی در دو حوضه مبدأ و مقصد و هزینه انتقال در هر سناریو با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$R.N.B_i = \frac{B_{2Zi}+B_{2Bi}-C_i}{B_{1Z}+B_{1B}} \quad i = 0,1,2,\dots,5 \qquad (۱۱)$$

که در آن B_{2Bi} ، B_{2Zi} سود خالص به‌دست آمده از تأمین نیازهای شرب، کشاورزی و صنعت در حوضه‌های زاینده‌رود و بهشت‌آباد بعد از اجرای طرح انتقال در هر سناریو، B_{1Z}، B_{1B} سود خالص بدست آمده از تأمین نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی در این دو حوضه در وضع موجود و C_i هزینه‌های ناشی از اجرای طرح انتقال آب بهشت آباد در هر سناریو و به قرار زیر می‌باشد:

- هزینه تملک زمین‌های مسکونی: با آبگیری سد بهشت‌آباد، تعدادی از روستاهای بالادست آن مستغرق می‌شوند که باید زمین‌های مسکونی خانوار آنها تملک شوند. براساس مطالعات انجام شده (زارع، ۱۳۹۰)، تعداد خانوار آبادی‌های مستغرق تقریبا به عدد ۲۰۰ می‌رسد که با محاسبه ارزش ریالی این زمین‌ها، هزینه تملک مربوطه به‌دست می‌آید.
- هزینه ایجاد فرصت‌های شغلی از دست رفته برای اهالی روستاهای مستغرق: با استغراق روستاهای بالادست سد بهشت‌آباد، اهالی این روستا که بیشتر آنها به کار کشاورزی و دامداری مشغولند، شغل خود را از دست می‌دهند. پرداخت نقدی فرصت شغلی از دست رفته به مردم که در مناطق جدید ساکن شده‌اند، توسط مجری طرح، یکی از راه‌های جبران خسارت می‌باشد. طبق تحقیقات انجام شده، تعداد شغل‌های از دست رفته در اثر استغراق این روستاها در حدود ۶۲ شغل می‌باشد. بر اساس گزارش وزارت نیرو هزینه ایجاد یک شغل در سال ۱۳۹۲ در حدود ۳۵۰ میلیون ریال می‌باشد که با ضرب این رقم در تعداد شغل‌های از دست رفته، هزینه مربوط به این قسمت به‌دست می‌آید.
- هزینه مربوط به احداث سد بهشت‌آباد: هزینه‌های احداث سد بتنی دوقوسی، احداث بلوک فشاری و دایک، احداث سرریز تاج و شوت، احداث سیستم انحراف و عملیات آب‌بندی از جمله هزینه‌های احداث سد بهشت‌آباد می‌باشند که محاسبه شده و در هزینه نهایی طرح در نظر گرفته شده‌اند (مهندسین مشاور زایندآب، ۱۳۸۸).
- هزینه مربوط به حفر تونل انتقال آب: برای انتقال آب از محل سد بهشت‌آباد در حوضه بهشت‌آباد به بالادست سد چم‌آسمان در حوضه زاینده‌رود تونلی به طول ۶۵ کیلومتر احداث خواهد شد. با در دست داشتن هزینه احداث تونل به ازای یک متر طول، هزینه کل احداث تونل به‌دست آمده و در هرینه کل طرح در نظر گرفته می‌شود (مهندسین مشاور زایندآب، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه قطر این تونل در سناریوهای مختلف متغیر است، هزینه احداث آن در هر سناریو متفاوت می‌باشد.

با توجه به رابطه (۱۱)، مقادیر کوچکتر از ۱ برای $R.N.B_i$ بیانگر عدم صرفه اقتصادی سناریو بوده و نشان‌دهنده اینست که هزینه‌های طرح بیشتر از سود به‌دست آمده می‌باشد و بالعکس اگر مقدار به دست آمده برای $R.N.B_i$ بزرگتر از ۱ باشد یعنی طرح اقتصادی بوده و سوده به‌دست آمده از طرح غالب بر هزینه‌های آن می‌باشد. سود حاصل از تأمین نیازهای آبی در حوضه‌های آبریز مبدأ و مقصد، بر اساس گزارشهای مطالعات اقتصادی طرح جامع آب کشور (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۲) و از ضرب قیمت فروش واحد آب در بخشهای مختلف شرب، صنعت و کشاورزی در میزان آب تأمین شده در هر یک از این بخشها در هر یک از سناریوها محاسبه گردیده است. در جداول ۵ و ۶ مقادیر R.N.B بدست آمده برای دو دوره هیدرولوژیک نرمال و خشک آورده شده است.

با در نظر گرفتن معیارهای ارائه شده در جدول ۴، مقادیر هریک از آنها در ۶ سناریوی تعریف شده با استفاده از نتایج مدل شبیه‌سازی MODSIM محاسبه شده و در نهایت ماتریس تصمیم‌گیری برای انتخاب سناریوی مطلوب در جداول ۷ و ۸ برای دو دوره هیدرولوژیک بلند مدت و خشک ارائه گردیده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جداول ۷ و ۸، می‌توان نکات زیر را بیان نمود:

- در بین ۶ معیار مؤثر، معیار کسری مخازن آب زیرزمینی درحوضه مقصد به عنوان معیار منفی و سایر معیارها به عنوان معیار مثبت در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۵- مقادیر سود خالص نسبی (R.N.B) در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت

سناریو	سود حاصل از تأمین نیازهای آبی در دو حوضه مبدأ و مقصد بدون اجرای طرح (میلیارد ریال)	سود حاصل از تأمین نیازهای آبی در دو حوضه مبدأ و مقصد بعد از اجرای طرح (میلیارد ریال)	هزینه طرح (میلیارد ریال)	*R.N.B*
اول	۱۳۷۴۳۹/۴	۱۴۷۰۵۵/۵۸	۳۶۴۳/۹۶	۱/۰۴۵
دوم	۱۳۷۴۳۹/۴	۱۴۸۰۱۰/۳۶	۴۷۴۹/۸	۱/۰۴۱
سوم	۱۳۷۴۳۹/۴	۱۴۸۶۴۷/۶۷	۶۱۶۱/۷۹	۱/۰۳۶
چهارم	۱۳۷۴۳۹/۴	۱۴۹۰۶۰/۶۸	۷۸۹۹/۵۵	۱/۰۳
پنجم	۱۳۷۴۳۹/۴	۱۴۹۴۴۷/۰۷	۹۹۵۳/۲۵	۱/۰۱۵

جدول ۶- مقادیر سود خالص نسبی (R.N.B) در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک خشک

سناریو	سود حاصل از تأمین نیازهای آبی در دو حوضه مبدأ و مقصد بدون اجرای طرح (میلیارد ریال)	سود حاصل از تأمین نیازهای آبی در دو حوضه مبدأ و مقصد بعد از اجرای طرح (میلیارد ریال)	هزینه طرح (میلیارد ریال)	*R.N.B*
اول	۸۸۰۹۱/۶۴	۹۳۲۸۳/۸۸	۳۶۴۳/۹۶	۱/۰۱۸
دوم	۸۸۰۹۱/۶۴	۹۳۹۰۹/۴۱	۴۷۴۹/۸	۱/۰۱۲
سوم	۸۸۰۹۱/۶۴	۹۳۹۱۸/۴۴	۶۱۶۱/۷۹	۰/۹۹
چهارم	۸۸۰۹۱/۶۴	۹۳۹۴۶/۹۷	۷۸۹۹/۵۵	۰/۹۷۷
پنجم	۸۸۰۹۱/۶۴	۹۴۰۹۲/۷۹	۹۹۵۳/۲۵	۰/۹۵۵

جدول ۷- ماتریس تصمیم‌گیری در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت

سناریو	معیار					
	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مبدأ	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مقصد	کسری مخازن آب زیرزمینی درحوضه مقصد	میزان تأمین نیاز زیست محیطی در حوضه مبدأ	میزان تأمین حقابه تالاب گاوخونی در حوضه مقصد	سود خالص نسبی *(R.N.B)*
صفر	۰/۹۳۶	۰/۷۷۶	−۰/۰۴۷	۰/۸۲۹	۰/۶۴۸	۱
اول	۰/۹۳	۰/۸۲	−۰/۰۴	۰/۶۵۹	۰/۷۰۶	۱/۰۴۵
دوم	۰/۹۲۷	۰/۸۳۲	−۰/۰۴	۰/۶۴۲	۰/۷۰۸	۱/۰۴۱
سوم	۰/۹۲۶	۰/۸۳۲	−۰/۰۳۹	۰/۶۴	۰/۷۰۸	۱/۰۳۶
چهارم	۰/۹۲۶	۰/۸۳۳	۰/۰۳۹	۰/۶۳۹	۰/۷۱	۱/۰۳۳
پنجم	۰/۹۲۵	۰/۸۳۳	۰/۰۳۸	۰/۶۳۹	۰/۷۱۱	۱/۰۱۵

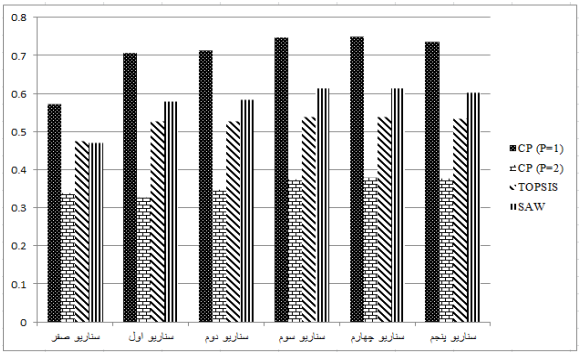
جدول۸- ماتریس تصمیم‌گیری در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک خشک

سناریو	معیار					
	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مبدأ	میزان تأمین نیازهای آبی در حوضه مقصد	کسری مخازن آب زیرزمینی درحوضه مقصد	میزان تأمین نیاز زیست محیطی در حوضه مبدأ	میزان تأمین حقابه تالاب گاوخونی در حوضه مقصد	سود خالص نسبی *(R.N.B)*
صفر	۰/۶۹۹	۰/۷۵۹	−۰/۳۴۸	۰/۶۴۵	۰/۵۹۲	۱
اول	۰/۶۷۱	۰/۷۹۷	−۰/۳۳۳	۰/۵۲	۰/۶۹۷	۱/۰۱۸
دوم	۰/۶۶۲	۰/۸	−۰/۳۳۳	۰/۴۷۴	۰/۶۹۷	۱/۰۱۲
سوم	۰/۶۶۲	۰/۸۰۲	−۰/۳۳۲	۰/۴۷	۰/۶۹۸	۰/۹۹۱
چهارم	۰/۶۶۱	۰/۸۰۳	−۰/۳۳۱	۰/۴۶۸	۰/۶۹۸	۰/۹۷۷
پنجم	۰/۶۶	۰/۸۰۳	−۰/۳۲۹	۰/۴۶۷	۰/۶۹۸	۰/۹۵۵

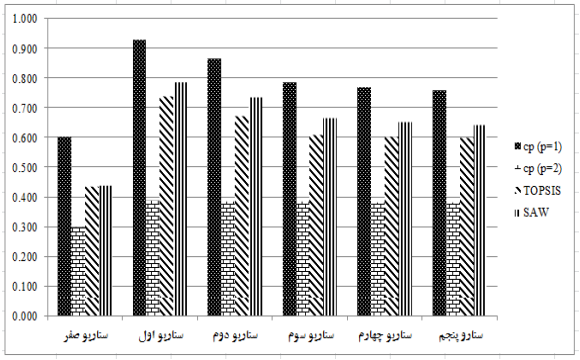
- با مقایسه کسری مخازن آب زیرزمینی حوضه مقصد در دو جدول، می‌توان به این نکته پی برد که کسری مخازن در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک خشک در حوضه زاینده‌رود در حدود ۶ برابر کسری مخازن در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت در همین حوضه می‌باشد. این اختلاف نشان از بحرانی‌تر بودن وضعیت آب‌های زیرزمینی حوضه زاینده‌رود در دوره هیدرولوژیک خشک دارد.
- با بررسی و ارزیابی معیار سود خالص نسبی (*R.N.B*) در جداول ۵ و ۶، مشاهده می‌شود که در بیشتر سناریوها طرح انتقال آب بهشت آباد توجیه اقتصادی ندارد. این مسئله بدین معنی است که این طرح با هدف کاهش بحران آب حوضه زاینده‌رود مطرح شده و مورد مطالعه قرار گرفته است.

در ادامه سناریوهای پیشنهاد شده برای انتقال آب، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره معرفی شده در بخشهای قبل اولویت‌بندی شده‌اند. پس از انجام محاسبات، نتایج رتبه‌بندی

سناریوها در شرایط لحاظ دو دوره هیدرولوژیک بلند مدت و خشک در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.



شکل۳- رتبه‌بندی سناریوها در شرایط دوره هیدرولوژیک بلند مدت



شکل۴- رتبه‌بندی سناریوها در شرایط دوره هیدرولوژیک خشک

بر اساس نتایج به‌دست آمده از دو شکل ۳ و ۴ برای هر سناریو در روش‌های مختلف می‌توان موارد زیر را بیان نمود:

- بر اساس نتایج به‌دست آمده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک خشک، سناریوی اول با احداث تونل انتقال آب به قطر ۳ متر (کوچکترین قطر) و حجم آب انتقالی ۱۴۷ میلیون متر مکعب در سال، سناریوی مطلوب انتخاب گردیده است.
- بر اساس نتایج به‌دست آمده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت، مطلوبیت سناریوهای۳، ۴، ۵ به یکدیگر نزدیک بوده و تقریباً در یک اولویت قرار دارند.
- در هر دو حالت و بر اساس نتایج به‌دست آمده از هر سه روش، سناریوی صفر که در آن انتقال آبی صورت نمی‌پذیرد به عنوان نامطلوب‌ترین سناریو انتخاب شده است.

همانطور که مشاهده شد، نتایج به‌دست آمده توسط روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده، برای سناریوهای ۳، ۴، ۵ در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت تقریبا نزدیک به هم بوده و مقایسه آنها دشوار می‌باشد. لذا برای انتخاب سناریوی برتر در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت، معیارهای جدیدی به صورت بیانی تعیین شده و با استفاده از تئوری فازی، مقایسه این سناریوها انجام می‌شود.

با نظر خواهی از کارشناسان خبره در زمینه منابع آب، معیارهای مؤثر به همراه وزنشان که به صورت بیانی می‌باشند، برای استفاده در اولویت‌بندی فازی در این بخش، مشخص شدند. در جدول ۹ لیست معیارهایی که انتخاب و در اولویت‌بندی استفاده شده‌اند به همراه وزن آنها، ارائه شده است.

جدول ۹- وزن معیارها برای تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی

معیار	وزن معیار (بیانی)	وزن معیار (عدد فازی مثلثی)
ریسک اجرا	کم اهمیت	(۰,۰/۱,۰/۳)
خسارت زیست محیطی	با اهمیت	(۰/۷,۰/۹,۱)
پذیرش اجتماعی	بسیار با اهمیت	(۰/۹,۱,۱)
احیا و توسعه صنعت و کشاورزی	تا حدودی با اهمیت	(۰/۵,۰/۷,۰/۹)
جلوگیری از مهاجرت و افزایش اشتغال	تا حدودی کم اهمیت	(۰/۱,۰/۳,۰/۵)

با توجه به جدول ۹، پنج معیار به همراه وزنشان که به دو صورت بیانی و عدد مثلثی ارائه شده است، برای تصمیم‌گیری فازی در نظر گرفته شده‌اند. این معیارها به شرح زیر می‌باشند:

- ریسک اجرا: ریسک در نظر گرفته شده در مسائل فنی و اجرائی طرح، بهره‌برداری و ... نظیر وقوع سیلاب یا زلزله و یا رانش زمین در زمان اجرای پروژه از جمله مسائل در نظر گرفته شده در این معیار می‌باشد.
- خسارت محیط زیستی: حفر تونل انتقال و اجرای طرح انتقال آب بهشت‌آباد ممکن است خسارات زیست‌محیطی در حوضه مبدا و به خصوص در مسیر تونل انتقال آب به بار آورد که باید در مطالعه طرح در نظر گرفته شود.
- پذیرش اجتماعی: در این معیار، میزان رضایت ذینفعان از جمله افرادی که زندگی آنها تحت تاثیر اجرای این طرح می‌باشد، در نظر گرفته شده است.

- احیا و توسعه صنعت و کشاورزی: احیای کشاورزی و صنعت در دو حوضه مبدا و مقصد از جمله جوانبی هستند که باید در طرح انتقال آب مورد نظر در نظر گرفته شوند.
- جلوگیری از مهاجرت و افزایش اشتغال: در یک طرح انتقال آب بین‌حوضه‌ای در صورت مدیریت صحیح، از یک طرف می‌توان با ایجاد فرصت‌های شغلی جدید میزان اشتغال را در دو حوضه مبدا و مقصد افزایش داد و از طرفی دیگر می‌توان با انتقال آب به حوضه مقصد و جلوگیری از بحران آب در آن، از مهاجرت بی‌رویه جلوگیری نمود.

در بین معیارهای در نظر گرفته شده، معیارهای ریسک اجرا و خسارت زیست‌محیطی به عنوان معیارهای منفی و مابقی معیارها، به عنوان معیار مثبت در نظر گرفته شده‌اند. پس از در نظرگیری معیارهای مؤثر و تعیین وزن آنها، با نظرسنجی از کارشناسان خبره در مباحث منابع آب، مقادیر و ارزش هریک از آنها در سه سناریوی مذکور تعیین شده و ماتریس تصمیم‌گیری فازی برای اولویت‌بندی سناریوهای پیشنهادی در جدول ۱۰ ارائه گردیده است.

با توجه به جدول ۱۰، ارزش معیارها در هر سناریو، به‌صورت بیانی در نظر گرفته شده است. عدد فازی مثلثی معادل عبارات بیانی جدول ۱۰ تعیین و در جدول ۱۱ ارائه شده است.

در نهایت با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS از میان سه سناریو، یک سناریو به عنوان سناریوی مطلوب انتخاب می‌گردد. نتایج حاصل از این روش در شکل ۵ به صورت نمودار ارائه شده است. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که سناریوی سوم با تونل انتقال آب به قطر ۵ متر و حجم آب انتقالی ۱۹۰ میلیون متر مکعب در سال به عنوان سناریوی مطلوب در شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک نرمال بلند مدت انتخاب شده است.

جدول ۸- ماتریس تصمیم‌گیری فازی

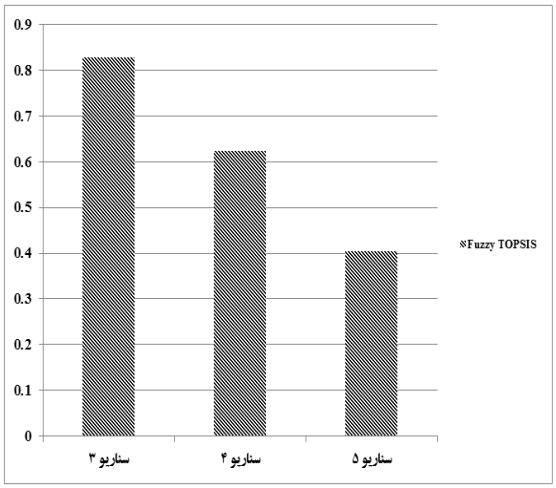
سناریو	معیار				
	ریسک اجرا	خسارت محیط زیستی	پذیرش اجتماعی	احیا و توسعه صنعت و کشاورزی	جلوگیری از مهاجرت و افزایش اشتغال
سناریوی ۳	مناسب	مناسب	زیاد	مناسب	مناسب
سناریوی ۴	مناسب	مناسب	زیاد	مناسب	تا حدوددی زیاد
سناریوی ۵	تا حدودی زیاد	تا حدودی زیاد	تا حدودی کم	تا حدوددی زیاد	زیاد

جدول ۹- ماتریس تصمیم‌گیری فازی با اعداد مثلثی

سناریو	معیار				
	ریسک اجرا	خسارت محیط زیستی	پذیرش اجتماعی	احیا و توسعه صنعت و کشاورزی	جلوگیری از مهاجرت و افزایش اشتغال
سناریوی ۳	(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)
سناریوی ۴	(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	(۵,۷,۹)
سناریوی ۵	(۵,۷,۹)	(۵,۷,۹)	(۱,۳,۵)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بررسی اثرات طرح‌های بزرگ مقیاس مدیریت منابع آب از جمله طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای موضوع بسیار پیچیده‌ای است. این ارزیابی با توجه به گستردگی و پیچیدگی موضوع جز با بکارگیری مدل‌های توسعه یافته و پیشرفته برنامه‌ریزی منابع آب ممکن نیست. در مقاله حاضر با توجه به این موضوع به بررسی و تحلیل یکی از بزرگ‌ترین طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای کشور که انتقال آب از حوضه بهشت‌آباد به گاوخونی می‌باشد، پرداخته شده است. با استفاده از مدل MODSIM طرح انتقال آب به فلات مرکزی در دو شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلند مدت و خشک به صورت مجزا و در قالب ۶ سناریو شبیه‌سازی و با توجه به خروجی‌های این مدل، تأثیر طرح انتقال آب بهشت آباد بر تأمین نیازها و محیط زیست و منابع



شکل۵- نتایج رتبه‌بندی چهار سناریو با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS

آب زیرزمینی دو حوضه مبدأ و مقصد ارزیابی شده است. در ادامه و پس از انتخاب معیارهای مؤثر و مناسب و وزن‌دهی آنها توسط کارشناسان منابع آب، ارزش هریک از آنها در هریک از ۶ سناریو مشخص و بدین ترتیب ماتریس تصمیم‌گیری جند معیاره و فازی تشکیل گردیده است. در ادامه و با استفاده از روش‌های معرفی شده تصمیم‌گیری چند معیاره و فازی، سناریوهای تعریف شده اولویت بندی شده و در نهایت گزینه مطلوب انتقال آب در شرایط لحاظ دوره‌های هیدرولوژیک بلند مدت و خشک به صورت مجزا انتخاب گردیده است. در حقیقت تحقیق حاضر در بر گیرنده ۲ نوع نگرش کلی جهت تصمیم‌گیری و انتخاب ابعاد مطلوب طرح تحت مطالعه است. یکی لحاظ سریهای زمانی نرمال بلند مدت ثبت شده و تصمیم‌گیری بر اساس آن که بنوعی نگاه خوشبینانه محسوب شده و دیگری لحاظ سریهای زمانی خشکسالی‌های ۱۰ ساله اخیر و تصمیم‌گیری بر اساس آن که شاید بتوان آن را نگاه واقع گرایانه محسوب نمود. نتایج بدست آمده نشان دهنده تأثیر خشکسالی چند سال اخیر بر مطلوبیت کاهش قطر تونل و حجم آب انتقالی به فلات مرکزی می‌باشند.

پی نوشت‌ها

1- Compromising-Programming
2-Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution
3- Simple Additive Weights

۵- مراجع

رضوی س ل، محمد ولی سامانی ج، کوره پزان دزفولی ا (۱۳۹۰) مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای گروهی فازی در اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۷، شماره ۳: ۱-۹.

زارع د (۱۳۹۰) شناسایی تغییرات در فرصت‌های اشتغال در اثر طرح‌های سدسازی کشور، مورد مطلعاتی: سد کارون چهار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

عرب د ر، محمد ولی سامانی ج (۱۳۸۷) گزارش انتقال آب بین‌حوضه‌ای بهشت آباد به فلات مرکزی. دفتر مطالعات زیر بنایی.

مهندسین مشاور زایندآب (۱۳۸۸) طرح انتقال آب به فلات مرکزی. کارفرما: شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ایران، گزارش مشخصات طرح.

مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۲) مطالعات طرح جامع آب کشور، کارفرما: وزارت نیرو، گزارش مطالعات اقتصادی.

نبی‌نژاد ش، موسوی س ج (۱۳۹۲) شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در تخصیص بهینه منابع آب حوضه‌ای با احتساب معیارهای کارایی عملکرد و عدالت. مجله آب و فاضلاب، سال ۲۴، شماره ۸۶: ۷۰-۷۹.

Chen J, Xu Z.Sh (2007) An interactive method for fuzzy multiple attribute group decision making. Journal of Information Sciences 177(1): 248-263.

Fredericks J, Labadie J, Altenhofen J. M (1998) Decision support system for conjunction stream-aquifer management. Journal of Water Resource Planning and Management 124(2): 69-78.

Hwang C, Yoon K (1981) Multiple attribute decision making methods and application. Springer, Berlin Heidelberg, 269p.

Labadie J, Fontane D (2003) MODSIM river basin management DSS: Application to the GEUM River Basin. Korea, Final Report.

Rasi Nezami S, Nazariha M, Moridi A, Baghvand A (2013) Environmentally sound water resources management in catchment level using DPSIR model and scenario analysis. Journal of Environmental Resources 7(3): 569-580.

Shourian M, Mousavi SJ, Tahershamsi A (2007) Basin-wide water allocation planning by integrating PSO Algorithm and MODSIM. Water Resources Management 22(10): 1347-1366.

Srdjevic B, Medeiros Y, Faria A (2004) An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. Water Resources Management 18(1): 35-54.

Zarghami M (2005) Uncertain criteria in ranking inter-basin water transfer projects in Iran. 73rd Annual meeting of ICOLD, 1-6 May, Tehran, Iran, 180-81.

Zeleny M (1973) Compromise programming in multiple criteria decision making. Cocharane JL, Zeleny M (eds.), University of Southern Carolina Press, Columbia, South Carolina, 262-301.