

## Development of a Multi-criteria Decision Support System for Water Resources Allocation in a basin (Case Study: Mazandaran-Golestan Water Conveyance System)

NOSRATOLLAH ASSADI<sup>1</sup>, KAMRAN DAVARY<sup>1\*</sup>, HOSSEIN ANSARI<sup>1</sup>, ALI NAGHI ZIAEI<sup>1</sup>, ALIREZA FARIDHOSSEINI<sup>1</sup>

1. Science and Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran,  
(Received: March. 18, 2019- Revised: May. 24, 2019- Accepted: May. 27, 2019)

### ABSTRACT

Water resources management in the basins has a wide and complex dimension, which is always faced with challenges such as environmental, socio-economic impacts, especially for decision-making on water transfer among basins. In this research, a multi-criteria decision Support system has been developed to allocate drinking, industrial and agricultural water and transfer water from Mazandaran to Golestan Provinces. Planning water resources, determining transferable surplus water by WEAP model, determining various coefficients of economic, social, technical, water resources and environmental criteria using Expert Choice software and their connection by Excel software were performed. Three Alternatives for transferring water including 1: transferring water from agricultural land upstream with Chalous excess water 2: transferring water from agricultural land upstream without Chalous excess water 3: transferring water from agricultural land downstream near the sea were defined and evaluated using multi-criteria evaluation. The results of the model showed that allocation of 82.2 million cubic meters for drinking and 10.5 million cubic meters for agricultural uses, considering the economic, social, technical, water resources and environmental criteria, is the optimum alternative for transferring water from Mazandaran province to Golestan province (Alternative 2) and it has the highest score (7.33) in the multi-criteria evaluation. Multi-criteria decision support system model was developed on the basis of the selected option, so that it is possible to examine different scenarios and can help decision-makers and planners to plan and allocate water resources at the basin level. The outputs of the model showed that considering economic indicators lonely could not lead to a proper decision for allocating water resources, especially for water transfer between the basins. Thus, in addition to economic considerations, it is necessary to consider the social, environmental, water resources and technical criteria using a multi-criteria evaluation.

**Keywords:** Water resources management; inter basin water transfer, water resources allocation, Analytical Hierarchy Process, Multi criteria decision support system

## توسعه یک سامانه تصمیم‌یار چند معیاره برای تخصیص منابع آب یک حوضه آبریز مطالعه موردی (سامانه انتقال آب مازندران-گلستان)

نصرت اله اسدی<sup>۱</sup>، کامران داوری<sup>۱\*</sup>، حسین انصاری<sup>۱</sup>، علی نقی ضیایی<sup>۱</sup>، علیرضا فریدحسینی<sup>۱</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۳/۶)

### چکیده

مدیریت منابع آب در حوضه‌های آبریز دارای ابعادی گسترده و پیچیده ای بوده که خصوصاً برای تصمیم‌گیری جهت انتقال آب بین حوضه‌ها همواره با مسائل چالشی مانند اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مواجه است. در این پژوهش سامانه تصمیم‌یار چندمعیاره جهت تخصیص منابع آب شرب، صنعت و کشاورزی برای انتقال آب از مازندران به گلستان توسعه یافته است. برنامه‌ریزی منابع آب و تعیین آب مازاد قابل انتقال توسط مدل WEAP، تعیین ضرایب معیارهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، فنی، منابع آب و زیست محیطی به کمک نرم افزار Expert Choice انجام و ارتباط بین موارد اشاره شده به کمک نرم افزار Excel صورت پذیرفت. سه گزینه انتقال آب شامل گزینه ۱) انتقال آب از بالادست اراضی زراعی با انتقال آب مازاد کانال چالوس، گزینه ۲) انتقال آب از بالادست اراضی زراعی بدون انتقال آب مازاد کانال چالوس، گزینه ۳) انتقال آب از پایین دست اراضی زراعی در کنار دریا تعریف و با کمک ارزیابی چندمعیاره مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تخصیص ۸۲/۲ میلیون مترمکعب برای شرب و ۱۰/۵ میلیون مترمکعب برای مصارف کشاورزی با معیارهای اقتصادی، اجتماعی، فنی، منابع آب و زیست‌محیطی گزینه بهینه برای انتقال آب از استان مازندران به استان گلستان بوده (گزینه ۲) و دارای بیشترین امتیاز در ارزیابی چندمعیاره معادل ۷/۳۳ می‌باشد. مدل تصمیم‌یار چندمعیاره براساس گزینه منتخب توسعه یافته، بگونه‌ای که امکان بررسی سناریوهای مختلف وجود داشته و می‌تواند تصمیم‌گیرندگان و متولیان امر را در خصوص برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب در سطح حوضه یاری نماید. نتایج خروجی مدل نشان داد که در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی به تنهایی نمی‌تواند منجر به تصمیم درست در چگونگی تخصیص منابع آب و خصوصاً انتقال آب از حوضه مبدأ به حوضه مقصد باشد و علاوه بر ملاحظات اقتصادی می‌بایست معیارهای اجتماعی، زیست‌محیطی، منابع آب و فنی را با بهره‌گیری از ارزیابی چندمعیاره مد نظر قرار داد.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت منابع آب، انتقال آب بین حوضه‌ای، تخصیص منابع آب، تحلیل سلسله مراتبی، سامانه تصمیم‌یار چندمعیاره

### مقدمه

مدیریت منابع آب با افزودن ساختار، قابلیت اطمینان، شفافیت و قاطعیت در تصمیم‌گیری می‌داندند. (Dunning *et al.*, 2000; Flug *et al.*, 2000; Joubert *et al.*, 2003). ارزیابی‌های چندمعیاره برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب برای ۱۱۳ مورد در ۳۴ کشور مختلف انجام گرفت. نتایج نشان داد که ارزیابی چندمعیاره در مدیریت منابع آب برای برنامه‌ریزی راهبردی و انتخاب زیرساخت‌های مناسب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مدیریت منابع آب یک مسئله چندهدفه است و ارزیابی چندمعیاره یک ابزار پشتیبانی مناسب برای تصمیم‌گیری است. از ارزیابی چند معیاره برای حل و فصل مناقشات مشارکت ذینفعان می‌توان بهره برد. همچنین می‌توان افزایش قابلیت اطمینان، شفافیت و مشکلات تحلیل تصمیمات در مدیریت منابع آب را بهبود بخشید

وجود ابعاد مختلف اجتماعی، زیست‌محیطی، اقتصادی و تعدد منظورها و اهداف در توسعه منابع آب مانند توسعه اقتصادی منطقه‌ای یا ملی، حفظ کیفیت آب، تامین آب کشاورزی، شرب و صنعتی، تولید برق که ممکن است در رقابت یا برخورد با یکدیگر باشند، گزینه‌های متعددی را در استفاده از منابع آب به وجود می‌آورند که با توجه به ابعاد گسترده و پیچیده مدیریت منابع آب در حوضه‌های آبریز، تصمیم‌گیری برای تخصیص منابع آب، نیاز به ارزیابی دقیق اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی- اقتصادی با در نظر گرفتن مدیریت بهم پیوسته منابع آب، در قالب سیاست‌ها و قوانین موجود دارد. محققین مختلف ارزیابی چندمعیاره را ابزاری مفید برای

(Hafezparast and Araghinejad, 2015) با استفاده از سامانه تصمیم یار مدیریت منابع آب که امکان تصمیم گیری براساس برآورد معیارهای زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را با محاسبه شاخص های کمی حاصل از خروجی مستقیم مدل برنامه ریزی منابع آب، برای سناریوهای اقلیمی فراهم می کرد، حوضه آبریز ارس را مورد بررسی قرار دادند. این سامانه با شبیه سازی تخصیص آب سطحی برای تقاضاهای کشاورزی، شرب و صنعت اثرات گزینه های مدیریتی پیشنهادی در شرایط مختلف را که بر تعادل عرضه و تقاضای آب تأثیرگذار هستند تحلیل می نمود. برای بررسی عملکرد گزینه های مدیریتی با اندازه گیری نه شاخص پیشنهادی از ابزار ارزیابی و شبیه سازی Mike Basin و اتصال آن با نرم افزار اکسل و برای تعیین بهترین گزینه مدیریتی، از تحلیل چندمعیاره و روش تاپسیس استفاده گردید. نتایج نشان داد که گزینه کاهش تلفات و افزایش راندمان در سناریوی خوش بینانه و گزینه کاهش تلفات و کاهش سطح زیرکشت به ترتیب در سناریوی ادامه وضع موجود و سناریوی بدبینانه نسبت به سایر گزینه ها برتری دارند.

(Davijani et al., 2016) یک مدل اقتصادی-اجتماعی دوهدفه برای تخصیص بهینه منابع آب به بخش های صنعت، کشاورزی و شهری را در منطقه خشک کویر مرکزی ایران ارائه نمودند. در این تحقیق در بخش کشاورزی، عملکرد تولید هر محصول تعیین و سپس براساس توابع تولید، مناطق تحت کشت، عملکرد محصولات و درآمد حاصل از هر محصول تابع هدف مشترک مشخص گردید. در بخش صنعت نیز عملکرد بصورت منطقه ای تعیین شد. نتایج نشان داد که با رشد اقتصادی و سود ۵۴ درصد، افزایش ۱۳ درصد اشتغال نسبت به شرایط پایه این مدل کارآمدتر بود.

(Chitsaz and Azarnivand, 2017) با استفاده از تکنیک ارزیابی چندمعیاره، مدیریت کمبود آب در مناطق خشک را به کمک مدل SWOT<sup>۴</sup> و روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی در استان یزد انجام دادند. نتایج نشان داد که تسهیل مشارکت بخش خصوصی در صنعت و گردشگری می تواند بعنوان اولویت اول و جایگزین کاهش کمبود آب در بخش کشاورزی در استان در نظر گرفته شود.

بررسی مطالعات گذشته لزوم و کارایی استفاده از سامانه تصمیم یار چندمعیاره جهت تصمیم گیری برای تخصیص منابع آب در حوضه های آبریز و خصوصاً به منظور انتقال آب بین حوضه ای را نشان داد. لذا در این پژوهش جهت تخصیص منابع آب برای

(Hajkowicz and Collins, 2007).

(He et al., 2007) سامانه تصمیم یار چندمعیاره را برای سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب در کشور چین توسعه دادند. در تهیه این سامانه از اطلاعات مکانی توسط نرم افزار<sup>۱</sup> GIS همراه با منظور نمودن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی توسط سامانه MCDM بهره گیری گردید. در این تحقیق مسئله تخصیص منابع آب با توسعه سامانه تصمیم یار چندمعیاره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تکنیک های اصلی شامل: (۱) تصمیم گیری چند معیاره (۲) سامانه اطلاعات جغرافیایی (۳) مدل تعادل عمومی محاسبه پذیر چند ناحیه ای (۴) سیستم خیره می باشد. نتایج نشان داد که سیستم پشتیبان تصمیم گیری، ترکیب موثری از نرم افزارها و تکنیک های اصلی بخصوص برای استفاده در تجزیه و تحلیل و توسعه سیاست های مدیریت پایدار منابع آب می باشد.

(Calizaya et al., 2010) ارزیابی چندمعیاره را برای مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه دریاچه پوپو بولیوی بکار بردند. نتایج بدست آمده از این بررسی به مدیران این اجازه را می داد که معیارهای زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در تصمیم گیری مد نظر قرار داده و در تصمیم گیری ها، مشارکت فعال ذینفعان را نیز در نظر گیرند.

(Savić et al., 2011) یک سامانه تصمیم یار برای بهینه سازی چندمعیاره با ابزار بهینه سازی یک یا چند هدفه در نرم افزار اکسل ارائه نمودند. این تحقیق نشان داد که استفاده از نرم افزار اکسل به دلیل کاربرد آسان، دسترسی به رابط های گرافیکی و امکان برنامه نویسی در ماکرو برای برنامه های کاربردی مدل سازی کوچک تا نسبتاً متوسط ایده آل می باشد.

(Choi et al., 2012) جهت تصمیم گیری برای مقابله با بحران کم آبی از ارزیابی چند معیاره بهره گیری نمودند. این محققین جهت پیش بینی و تجزیه تحلیل وضعیت آبی منابع آب در کشور کره جنوبی به کمک نرم افزار WEAP<sup>۲</sup> در تصمیم گیری چندمعیاره، بخش های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را مد نظر قرار دادند.

(Rousta and Araghinejad, 2015) یک ابزار تصمیم گیری چندمعیاره مکانی برای سامانه تصمیم یار منابع آب ارائه نمودند. مدل مذکور فرایند تصمیم گیری چند معیاره را برای ارزیابی و برنامه ریزی منابع آب به کمک نرم افزار WEAP تسهیل نموده و علاوه بر بهره گیری از اطلاعات مکانی، معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را وزن دهی می نماید.

تجن، نکا و گرگان با مشخصات زیر می‌باشند.

**سیستم هراز** شامل اراضی آبخور رودخانه‌های آتش رود، هراز، گرم‌رود، خرون رود، بزود، کلارود، متالون رود و سجادرود می‌باشد. مرز سیستم‌های مطالعاتی هراز و تالار رودخانه بابل رود تعیین شده است. آورد رودخانه چالوس و سرشاخه‌های آن نیز با احداث کانال چالوس به دشت هراز منتقل می‌گردد.

**سیستم تالار** شامل اراضی ساحل راست بابل‌رود، ساحل چپ و راست رودخانه تالار و ساحل چپ رودخانه سیاهرود است. **سیستم تجن** از ساحل راست سیاهرود آغاز شده و کل اراضی محدوده رودخانه‌های تجن، دارابکلا و نیز ساحل چپ رودخانه نکا را شامل می‌شود.

**سیستم نکا** شامل رودخانه نکا و مسیل‌های جنوبی خلیج گرگان تا مرز استان مازندران می‌باشد که تامین کننده آب مازاد نبوده و کمبودهای آن قبل از انتقال آب مازاد به استان گلستان می‌بایست تامین گردد.

**سیستم گرگان** (محدوده‌های شمالی و جنوبی استان گلستان) از مرز استان مازندران و گلستان تا دیوار اسکندر و مرز شمالی طرح‌های گرکز و وشمگیر را تشکیل می‌دهد.

تامین آب در این سیستم‌ها از طریق رودخانه‌ها و برداشت از آب زیرزمینی از طریق چاه و چشمه صورت می‌گیرد. همچنین سیستم‌های آب‌بندان نیز به عنوان مخازن محلی ذخیره آب در دشت، در تنظیم آب نقش دارند. در شکل (۱) محدوده عمومی سیستم‌های مطالعاتی نمایش داده شده است.

مساحت اراضی آبی در سیستم هراز ۹۶۳۵۷ هکتار، در سیستم تالار ۶۰۴۱۲ هکتار و در سیستم تجن ۶۳۷۹۷ هکتار و جمعا در این سه سیستم مطالعاتی (حوضه مبدا) معادل ۲۲۰۵۶۶ هکتار را شامل می‌شود.

انتقال از استان مازندران به استان گلستان یک سامانه تصمیم‌یار چندمعیاره توسعه یافت تا جهت تحلیل نتایج مطالعات انجام شده مورد استفاده قرار گرفته و متولیان امر بتوانند در تصمیم‌گیری‌ها از آن بهره‌جویند.

## مواد و روش‌ها

### گستره انجام کار

محدوده مورد مطالعه در ساحل جنوبی دریای خزر و خلیج گرگان و در ناحیه‌ای بین عرض جغرافیایی  $35^{\circ}-45'$  تا  $36^{\circ}-10'$  شمالی و طول جغرافیایی  $50^{\circ}-55'$  تا  $44^{\circ}-45'$  شرقی واقع شده و از نظر تقسیمات کشوری عمدتاً به استان‌های مازندران و گلستان تعلق دارد. گستره انجام کار شامل بخشی از استان مازندران به عنوان حوضه مبدا و استان گلستان بعنوان حوضه مقصد می‌باشد. جهت انتقال آب مازاد، سامانه انتقال از رودخانه هراز در رقوم ۱۶۴ متر از سطح دریا شروع و بصورت ثقلی در رقوم ۶۸ متر از سطح دریا آب را به محل رودخانه تجن انتقال می‌دهد. نیاز آبی شبکه نکا که تحت پوشش سد مخزنی گله‌ورد می‌باشد توسط کانال و تونل از محل رودخانه تجن در رقوم ۱۳۵ متر به شبکه نکا تحویل می‌گردد. آب شرب گلستان از سد مخزنی گله‌ورد که تراز نرمال آن ۷۳۰ متر بوده در رقوم ۶۷۰ متر آبیگیری می‌شود و با احداث مخازن تقلیل فشار و خطوط لوله فولادی پس از طی ۸۳ کیلومتر شامل ۷/۶۵ کیلومتر تونل و ۷۵/۳۵ کیلومتر خط لوله در رقوم ۱۵۰ متر از سطح دریا به شهرستان گرگان تحویل می‌گردد. براساس منابع، تامین آب اراضی به بخش‌های مجزا تقسیم شده که به هر قسمت آن سیستم مطالعاتی گفته می‌شود. سیستم‌های مطالعاتی به ترتیب از غرب به شرق شامل سیستم‌های هراز، تالار،



شکل ۱. محدوده عمومی سیستم‌های مطالعاتی

## روش انجام کار

درصد کمبود مجاز برای سیستم‌های مطالعاتی حوضه مبداء تعیین و پس از تامین کامل نیازها، پتانسیل آب مازاد قابل انتقال برای هر کدام از گزینه‌ها برآورد و نتایج در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. پتانسیل آب مازاد در گزینه‌های مختلف انتقال (میلیون مترمکعب)

| شرح     | پتانسیل آب مازاد شش ماهه |       | پتانسیل کل آب انتقالی |
|---------|--------------------------|-------|-----------------------|
|         | اول                      | دوم   |                       |
| گزینه ۱ | ۲۴۵/۴                    | ۳۱۸/۹ | ۵۶۴/۳                 |
| گزینه ۲ | ۲۱۴/۶                    | ۲۲۱/۷ | ۴۳۶/۳                 |
| گزینه ۳ | ۲۶۱/۸                    | ۳۸۶/۱ | ۶۴۷/۹                 |

پس از تعیین پتانسیل آب مازاد، برای بخش‌های مختلف سامانه انتقال آب، ظرفیت بهینه انتقال آب مشخص و آب مازاد قابل انتقال هر گزینه برآورد گردید که نتایج آن در جدول (۲) درج شده است.

جهت انجام برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه مبداء، پس از تعیین منابع آب شامل، منابع آب سطحی (آبدهی رودخانه‌ها)، آب زیرزمینی (چشمه و چاه)، آب برگشتی و استفاده مجدد و آب تنظیمی در آب‌بندان‌ها و مصارف شامل، مصارف کشاورزی، شرب و صنعت، نیازهای زیست‌محیطی، سه گزینه اصلی برای تامین و انتقال آب تا سیستم مطالعاتی تجن (آخرین نقطه برای تصمیم‌گیری جهت انتقال آب به حوضه مقصد، استان گلستان) تعریف گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به گزینه‌های سه‌گانه تامین و انتقال آب مازاد شامل گزینه (۱) انتقال آب از بالادست اراضی زراعی با انتقال آب مازاد کانال چالوس، گزینه (۲) انتقال آب از بالادست اراضی زراعی بدون انتقال آب مازاد کانال چالوس، گزینه (۳) انتقال آب از پایین دست اراضی زراعی در کنار دریا تعریف و مدل برنامه‌ریزی منابع آب با نرم‌افزار WEAP تهیه گردید. در تعیین پتانسیل آب مازاد طبق معیارهای توسعه پایدار

جدول ۲. میزان آب انتقالی از سیستم‌های هراز و تالار تا رودخانه تجن در گزینه‌های مختلف انتقال (میلیون متر مکعب)

| شرح     | منابع و ظرفیت انتقال   | شش ماه اول | شش ماه دوم | کل    |
|---------|--|------------|------------|-------|
| گزینه ۱ | آب انتقالی در فاصله رودخانه تالار-تجن (با ظرفیت ۱۷ مترمکعب بر ثانیه) | ۱۴۸/۸      | ۲۱۰/۲      | ۳۵۹/۰ |
| گزینه ۲ | آب انتقالی در فاصله رودخانه تالار-تجن (با ظرفیت ۱۲ مترمکعب بر ثانیه) | ۱۱۷/۳      | ۱۴۴/۸      | ۲۶۲/۱ |
| گزینه ۳ | آب انتقالی در فاصله رودخانه تالار-تجن (با ظرفیت ۲۲ مترمکعب بر ثانیه) | ۱۶۲/۸      | ۲۶۵/۵      | ۴۲۸/۳ |

شاخص‌های اقتصادی و سپس ارزیابی چندمعیاره بین آنها برای انتخاب گزینه بهینه انجام پذیرفت. شاخص‌های اقتصادی به تفکیک گزینه‌های مختلف در جدول (۳) ارائه گردیده است.

برای هر یک از گزینه‌های تامین و انتقال آب بسته به الزامات طرح، مصارف در حوضه مقصد تعریف گردید و بعد از شبیه‌سازی منابع و مصارف آب، هزینه‌ها و منافع هر یک از گزینه‌ها برآورد و پس از ارزیابی اقتصادی گزینه‌ها ابتدا

جدول ۳. شاخص‌های اقتصادی به تفکیک گزینه‌های مختلف واحد: میلیون ریال / نرخ بهره - تنزیل: ۷ و ۸ درصد

| شرح                               | گزینه ۱    | گزینه ۲    | گزینه ۳     |
|-----------------------------------|------------|------------|-------------|
| فایده خالص (B-C)                  | -۶,۴۲۰,۴۲۸ | -۲,۳۳۹,۷۱۷ | -۱۲,۶۶۹,۹۶۶ |
| نسبت فایده به هزینه (B/C)         | ۰/۷۴       | ۰/۸۶       | ۰/۶۳        |
| نرخ بازده داخلی (%)               | ۴/۱۲       | ۶/         | ۲/          |
| متوسط هزینه یک متر مکعب آب (ریال) | ۱۲,۰۴۰     | ۱۱,۹۲۶     | ۱۳,۲۳۳      |

خالص را به جامعه تحمیل می‌نماید و از منظر اقتصادی در بین گزینه‌های مورد بررسی در رتبه اول قرار دارد و در پی آن گزینه‌های اول و سوم به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. البته این نتایج صرفاً از منظر اقتصادی بوده و جهت تصمیم‌گیری

با استناد به شاخص‌های اقتصادی ارائه شده و بالاخص شاخص فایده خالص سالانه (B-C) مشاهده می‌شود که هیچ یک از گزینه‌های مورد بررسی از منظر اقتصادی توجیه‌پذیر نمی‌باشند. لیکن در بین گزینه‌های مورد بررسی گزینه دوم کمترین زیان

فنی، ارزیابی چندمعیاره با نرم افزار Expert Choice انجام پذیرفته که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

می بایست سایر ملاحظات زیست محیطی، اجتماعی، فنی و منابع آب را نیز در نظر گرفت که به همین منظور براساس معیارهای مختلف، همچون ملاحظات اجتماعی، منابع آب، زیست محیطی و

جدول ۴. نتایج ارزیابی گزینه های مختلف با روش تحلیل سلسله مراتبی

| گزینه ها  | امتیاز حاصل از تحلیل |
|---|----------------------|
| گزینه یک: انتقال آب از بالادست با پمپاژ آب مازاد انتهای کانال چالوس   | ۶/۹۵                 |
| گزینه دو: انتقال آب از بالادست بدون پمپاژ آب مازاد انتهای کانال چالوس | ۷/۳۳                 |
| گزینه سه: انتقال آب از پایین دست (ظرفیت ۱۰-۱۲ متر مکعب در ثانیه)      | ۶/۲۵                 |

پس از انتخاب گزینه ی بهینه آب مازاد قابل انتقال، برای تهیه سامانه تصمیم یار چندمعیاره بر اساس تخصیص منابع آب مختلف (شرب و کشاورزی) مدل محاسباتی پارامترهای زیر تهیه گردید به گونه ای که برای هر سناریوی تخصیص جدید کلیه پارامترها محاسبه می شود.

هزینه های تامین و انتقال آب از حوضه مبدأ به حوضه مقصد شامل هزینه های خرید و عملیات اجرایی کلیه اجزاء هزینه های بهره برداری برای کلیه اجزاء سامانه تامین و انتقال آب

منافع حاصل از تامین آب شرب و کشاورزی معیارها و زیرمعیارهای اقتصادی بر اساس ارزیابی اقتصادی انجام شده برای هزینه ها و درآمدهای برآوردی معیارها و زیرمعیارهای اجتماعی، زیست محیطی، فنی و منابع آب حاصل از تخصیص منابع آب مختلف در پایان برای هر سناریوی تخصیص به کمک وزن معیارها و زیرمعیارهای مختلف تعیین شده توسط نرم افزار ExpertChoice، نتایج حاصل از ارزیابی چندمعیاره (معیارهای اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی، فنی و منابع آب) و شاخص های اقتصادی شامل نسبت فایده به هزینه، فایده خالص، هزینه های سرمایه گذاری، فواید حاصل از انتقال آب، هزینه یک مترمکعب آب انتقالی توسط مدل تصمیم یار چندمعیاره ارائه می گردد. مدل مذکور محدودیتی برای تعریف سناریوهای مختلف نداشته و در چارچوب میزان آب مازاد قابل انتقال، نتایج برای هر سناریوی تعریف شده قابل ارائه می باشد.

#### مدل شبیه سازی

برای شبیه سازی منابع و مصارف آب در سیستم های مورد مطالعه، از مدل شبیه سازی WEAP استفاده شده است. نرم افزار WEAP قادر به شبیه سازی طیف وسیعی از مولفه های طبیعی و ساخته شده این سیستم ها از جمله رواناب، دبی پایه، تغذیه طبیعی آب های زیرزمینی، تحلیل نیازها، ذخیره آب، حقایقها و

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۴) گزینه شماره دو، انتقال آب از بالادست بدون پمپاژ آب مازاد انتهای کانال چالوس، رتبه بالاتری نسبت به بقیه کسب نموده است. لذا برای تهیه مدل سامانه تصمیم یار چندمعیاره از اطلاعات گزینه بهینه، انتقال آب از بالادست بدون پمپاژ آب مازاد انتهای کانال چالوس استفاده می گردد.

#### مشخصات کلی گزینه های انتقال آب

##### الف- گزینه های ۱ و ۲

آبگیری از بخش های ابتدایی کانال شرقی احداث شده در محل سد انحرافی هزارسنگر بر روی رودخانه هراز با ظرفیت ۱۰ و ۱۵ مترمکعب بر ثانیه (با پمپاژ و بدون پمپاژ از کانال انتقال چالوس) صورت پذیرفته و طول کل مسیر انتقال حدود ۷۹ کیلومتر می باشد که از این میزان حدود ۳۰ کیلومتر تونل و مابقی کانال دوزنقه ای، سیفون، فلوم و باکس سرپوشیده می باشد. در گزینه با پمپاژ آب مازاد چالوس حدود ۱۸/۲۵ کیلومتر خط لوله به همراه دو ایستگاه پمپاژ به اجزای سامانه اضافه می شود.

##### ب- گزینه ۳

در گزینه پایین دست، انتقال آب از کنار دریا و خروجی سیستم های مطالعاتی تأمین کننده آب انجام گردیده و انتقال آب تحت فشار انجام می پذیرد و انرژی مورد نیاز انتقال توسط ایستگاه های پمپاژ تأمین می گردد. مسیر سامانه در این گزینه در بخش های میانی وارد دشت ها شده و به سمت عرض های جنوبی تر حرکت می کند تا در نهایت در نزدیکی شهر ساری به محل سد انحرافی تجن که بر روی رودخانه تجن واقع شده، میرسد و شبکه تجن را تغذیه می کند. آب انتقالی مصرف نشده در سیستم تجن مجدد به ابتدای سامانه تجن تا نکا پمپ می گردد. طول مسیر ۵۲/۴ کیلومتر و با خط لوله می باشد و انتقال بوسیله سه ایستگاه پمپاژ انجام می گیرد. انتقال آب از رودخانه هراز تا رودخانه بابلرود به طول ۱۶/۶ کیلومتر و بصورت کانال دوزنقه ای می باشد.



نماینده می‌نمودند. در جلسات کارشناسی تیمی متشکل از کارشناسانی با تخصص‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و منابع آب حضور داشتند.

ارزیابی‌های انجام شده بر اساس مجموعه معیارهای ارائه شده انجام گردیده و معیارهای تعیین شده پوشش دهنده شاخص‌های لازم برای ارزیابی می‌باشند.

معیارهای اصلی شامل معیارهای فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و منابع آب می‌باشند. برای هر یک از معیارهای اصلی تعدادی زیر معیار مهم و موثر توسط افراد متخصص انتخاب که در جدول (۵) نشان داده شده است.

همچنین نمایش گرافیکی روش تحلیل سلسله مراتبی برای ارزیابی چندمعیاره تخصیص منابع آب در شکل (۲) ارائه شده است. برای زیر معیارهای هر یک از معیارهای اصلی بصورت جداگانه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن هر زیر معیار (شاخص) محاسبه می‌شود. برای محاسبه وزن معیارهای اصلی نیز تمام معیارهای اصلی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی با یکدیگر مقایسه و وزن دهی شده‌اند.

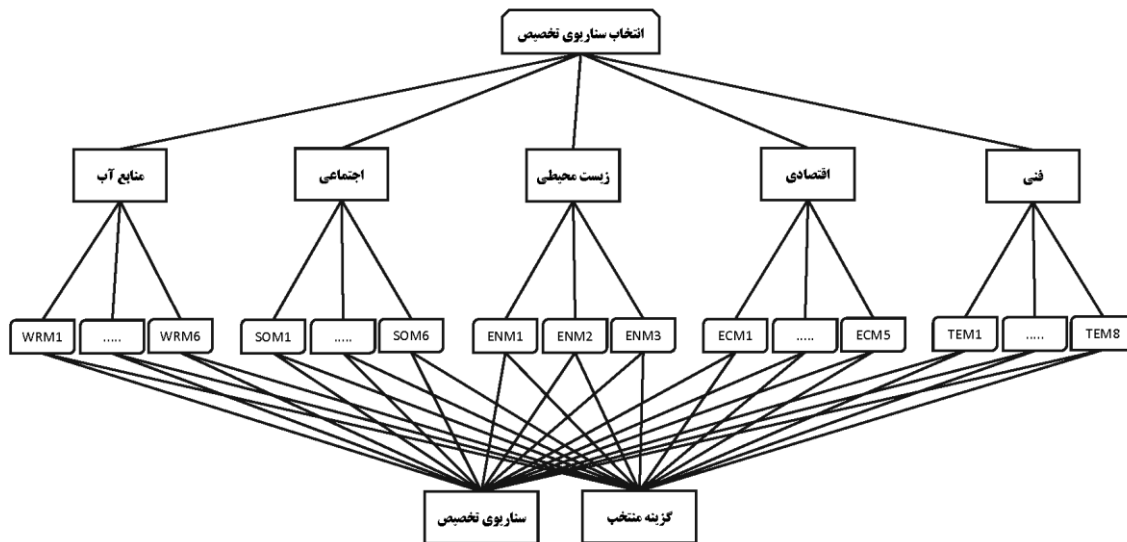
اولویت‌های تخصیص، بهره‌برداری از مخزن، تولید برقایی، روندیابی آلودگی و کیفیت آب و ارزیابی تامین نیازهای زیست‌محیطی است.

ارزیابی چندمعیاره به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

با تصمیم‌گیری گروهی به همراه تیم متخصص تشکیل شده، به کمک نرم افزار Expert Choice و به روش مقایسه زوجی، محاسبه وزن نسبی معیارهای اصلی و زیر معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گردید. در مقایسه زوجی و تعیین وزن نسبی معیارهای اصلی و زیر معیارها شرایط و فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

کلیه ارزشهای محاسبه شده برای معیارهای گوناگون به طور نسبی و در مقیاس ۱ الی ۹ استاندارد گردیدند، بدین معنی که بالاترین ارزش یک معیار برای گزینه‌های مختلف برابر ۹ در نظر گرفته شده و بقیه ارزش‌های آن معیار برای سایر گزینه‌ها بر آن اساس، استاندارد شده‌اند.

کارشناسانی که برای حضور در جلسات وزن‌دهی انتخاب گردیدند، مجموعه‌ای از تخصص‌ها و دیدگاه‌های مختلف را



شکل ۲. نمایش گرافیکی معیارهای اصلی و زیر معیارها در روش تحلیل سلسله مراتبی

(رابطه ۱)

$$A = \begin{matrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{matrix} \quad A = [a_{ij}] \quad i, j=1, \dots, n$$

ماتریس A ممکن است سازگار یا ناسازگار باشد در حالتی که ماتریس سازگار است محاسبه وزن  $W_i$  ساده بوده و از نرمالیزه

روش‌های محاسبه وزن نسبی در روش سلسله مراتبی (AHP) به طور کلی یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود که در آن  $a_{ij}$  ترجیح عنصر i ام نسبت به عنصر j ام است. حال با مشخص بودن  $a_{ij}$  ها وزن عناصر یعنی  $W_i$  بدست می‌آید.

میانگین گیری است، زیرا در این روش وزن عنصر  $i$  ام (یعنی  $w_i$ ) طبق تعریف فوق برابر است با:

$$w_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{رابطه ۳})$$

دستگاه معادلات فوق را می توان به صورت زیر نوشت:

$$A \times W = \lambda w \quad (\text{رابطه ۴})$$

طبق تعریف چنانچه این روابط بین یک ماتریس ( $A$ ) و بردار  $w$  و عدد  $\lambda$  برقرار باشد گفته می شود که  $w$  بردار ویژه و  $\lambda$  یک مقدار ویژه برای ماتریس  $A$  است. با تلفیق وزن های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می گردد.

کردن عناصر هر ستون بدست می آید. اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه وزن ساده نبوده و می توان از روش بردار ویژه استفاده نمود.

در این روش  $w_i$  ها به گونه ای تعیین می شوند که روابط زیر صادق باشند: (رابطه ۲)

$$a_{11}w_1 + a_{12}w_2 + \dots + a_{1n}w_n = \lambda w_1$$

$$a_{21}w_1 + a_{22}w_2 + \dots + a_{2n}w_n = \lambda w_2$$

$$a_{n1}w_1 + a_{n2}w_2 + \dots + a_{nn}w_n = \lambda w_n$$

که در آن  $a_{ij}$  ترجیح عنصر  $i$  ام بر  $j$  ام است.  $w_i$  نیز وزن

عناصر  $i$  ام و  $\lambda$  عددی ثابت است. این روش نیز یک نوع

جدول ۵. وزن معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

| معیار اصلی | وزن معیار | زیر معیار                              | وزن زیر معیار | علامت اختصاری |
|------------|-----------|--|---------------|---------------|
| فنی        | ۱۷/۲      | تکنولوژی اجرا                          | ۱۲/۷          | TEM1          |
|            |           | سهولت اجرا                             | ۶/۹           | TEM2          |
|            |           | بهره برداری مرحله ای                   | ۴/۹           | TEM3          |
|            |           | سهولت بهره برداری                      | ۱۷/۴          | TEM4          |
|            |           | سهولت نگهداری                          | ۸/۹           | TEM5          |
|            |           | سطح دسترسی به اطلاعات پایه             | ۹/۶           | TEM6          |
|            |           | پدافند غیرعامل                         | ۶/۷           | TEM7          |
|            |           | تامین مصالح مورد نیاز                  | ۳۳            | TEM8          |
| اقتصادی    | ۱۷/۴      | فایده خالص سالانه                      | ۲۹/۵          | ECM1          |
|            |           | سرمایه گذاری اولیه                     | ۳۵/۷          | ECM2          |
|            |           | نرخ بازده داخلی                        | ۱۵/۸          | ECM3          |
|            |           | ریسک تحقق فایده خالص سالانه            | ۹/۵           | ECM4          |
|            |           | امکان تحقق سایر درآمدها                | ۹/۵           | ECM5          |
| زیست محیطی | ۱۵/۵      | محیط فیزیکوشیمیائی                     | ۲۳/۸          | ENM1          |
|            |           | محیط بیواکولوژیکی                      | ۶۲/۵          | ENM2          |
|            |           | آلاینده ها                             | ۱۳/۶          | ENM3          |
| اجتماعی    | ۳۴        | سهولت استملاک اراضی                    | ۶۳/۳          | SOM1          |
|            |           | تقاطع با محیط انسان ساخت               | ۱۵/۳          | SOM2          |
|            |           | جمعیت متاثر حوضه تامین کننده           | ۱۵/۳          | SOM3          |
|            |           | تمایلات ذیمدخلان                       | ۸/۲           | SOM4          |
|            |           | پتانسیل بروز تعارضات منطقه ای          | ۱۶/۳          | SOM5          |
|            |           | اشتغال زایی                            | ۸/۷           | SOM6          |
| منابع آب   | ۱۶        | حجم آب انتقالی                         | ۹             | WRM1          |
|            |           | حجم مخزن مورد نیاز برای تنظیم          | ۱۲/۵          | WRM2          |
|            |           | قابلیت تامین نیازها در حوضه مقصد       | ۱۲/۵          | WRM3          |
|            |           | نسبت آب مصرف شده به منتقل شده          | ۲۲            | WRM4          |
|            |           | ریسک تحقق آب مازاد در حوضه مبدا        | ۲۲            | WRM5          |
|            |           | تاثیر محل آگیری بر پتانسیل آب زیرزمینی | ۲۲            | WRM6          |

گزینه در معیار مربوطه می باشد، به سهولت می توان گفت که وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در وزن

از آنجا که وزن معیارها منعکس کننده اهمیت آنها در عمل بوده و وزن هر گزینه نسبت به معیارها سهم آن



گزینه مربوطه از آن معیار به دست می آید.  
در تعیین ضرایب معیارها، سازگاری تصمیم محاسبه می گردد تا نسبت قابل قبول بودن یا مردود بودن قضاوتها نیز کنترل شود.  
گام ۱- تشکیل مقایسه زوجی (A)  
گام ۲- مشخص نمودن بردار وزن (w)  
گام ۳- اگر بزرگترین مقدار ویژه ماتریس A یعنی  $\lambda_{max}$  مشخص باشد مرحله ۴ انجام می پذیرد در غیر این صورت به روش زیر برآورد می گردد:  
گام ۱-۳ با ضرب بردار w در ماتریس A، به کمک رابطه

گام ۳-۲ با تقسیم مقدار بدست آمده برای  $\lambda_{max} W$  بر  $W$  مربوطه، تخمین هایی از  $\lambda_{max}$  محاسبه می شود.  
گام ۳-۳ متوسط مقادیر بدست آمده برای محاسبه  $\lambda_{max}$  استفاده می شود.  
گام ۴- مقدار شاخص سازگاری  $I.I$  از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن n تعداد معیارها می باشد.

گام ۵- نرخ سازگاری  $I.R$  از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I.R = \frac{I.I}{I.I.R} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در این رابطه  $I.I.R$  شاخص سازگاری ماتریس های تصادفی است که از جدول (۶) بدست می آید:

جدول ۶. شاخص سازگاری ماتریس های تصادفی

| n     | ۱ | ۲ | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    | ۱۰   |
|-------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I.I.R | . | . | ۰/۵۸ | ۰/۹۰ | ۱/۱۲ | ۱/۲۴ | ۱/۳۲ | ۱/۴۱ | ۱/۴۵ | ۱/۴۵ |

آب برای هریک از مصارف، کلیه هزینه های انتقال آب و منافع حاصل از تخصیص محاسبه گردد و با لحاظ پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی ناشی از انتقال آب، با انجام ارزیابی چندمعیاره شرایط برای تصمیم گیری را فراهم نماید. با توجه به اینکه در این تحقیق ابتدا آب مازاد قابل انتقال و گزینه تامین و انتقال آب در حوضه مبدا مشخص و گزینه بهینه برای تخصیص نیز مشخص شده است، هر سناریوی تخصیص جدید که توسط کاربر تعریف گردد، با گزینهی منتخب مورد مقایسه قرار گرفته و تصمیم گیرندگان می توانند بسته به شرایط، سناریوهای مختلف را بررسی و تصمیم مناسب را اتخاذ نمایند.

### نتایج و بحث

در این پژوهش مدل تصمیم یار چندمعیاره بگونه ای توسعه یافت که با تعریف یک سناریوی تخصیص و تعیین میزان تخصیص مختلف برای منابع آب شرب و کشاورزی، ابتدا اجزاء مناسب برای انتقال آب تعیین و کلیه هزینه های تامین و انتقال آب، هزینه های بهره برداری و نگهداری اجزاء مختلف سامانه های تامین و انتقال آب، و نیز فواید حاصل از تخصیص های مختلف منابع آب به شرب و کشاورزی برآورد می گردد. سپس ارزیابی اقتصادی سناریوی تخصیص انجام و نتایج را در جدولی شامل پارامترهای هزینه سرمایه گذاری، کل منافع (درآمدها)، نسبت فایده به هزینه، نرخ بازده داخلی و هزینه یک مترمکعب آب ارائه می نماید.

الگوریتم محاسبه نرخ سازگاری یک ماتریس  
نرخ سازگاری هر ماتریس مانند A طبق مراحل زیر محاسبه می گردد:

گام ۱- تشکیل مقایسه زوجی (A)  
گام ۲- مشخص نمودن بردار وزن (w)  
گام ۳- اگر بزرگترین مقدار ویژه ماتریس A یعنی  $\lambda_{max}$  مشخص باشد مرحله ۴ انجام می پذیرد در غیر این صورت به روش زیر برآورد می گردد:

گام ۱-۳ با ضرب بردار w در ماتریس A، به کمک رابطه

الگوی محاسبه نرخ سازگاری یک سلسله مراتبی  
برای محاسبه نرخ سازگاری یک سلسله مراتبی، شاخص سازگاری هر ماتریس ( $I.I$ ) را در وزن معیار مربوطه اش (یعنی معیاری که ماتریس در مقایسه با آن ساخته شده است) ضرب نموده و از حاصل جمع آنها  $\bar{I.I}$  بدست می آید.  
همچنین وزن معیارها را در  $I.I.R$  ماتریس های مربوطه ضرب نموده و از مجموع آنها  $\bar{I.I.R}$  بدست می آید.  
از حاصل تقسیم  $\frac{\bar{I.I}}{\bar{I.I.R}}$  نرخ سازگاری سلسله مراتبی بدست می آید.

پس از محاسبه نرخ سازگاری، به روش فوق گزینه های مختلف تامین و انتقال آب مازاد در حوضه مبدا (استان مازندران) مورد ارزیابی قرار گرفته و گزینه بهینه برای انتقال آب مازاد مشخص گردیده است.

### مدل تصمیم یار چندمعیاره برای تخصیص منابع آب

مدل های توسعه داده شده از مولفه های مختلف، می تواند بخش های یک سامانه تصمیم یار چندمعیاره برای تخصیص منابع آب جهت انتقال آب از حوضه مبدا به حوضه مقصد، با توجه به نتایج مدل های تعیین آب مازاد قابل انتقال در حوضه مبدا و تعریف مسیرهای انتقال آب را تشکیل دهد و تصمیم گیری در خصوص تغییر تخصیص مصارف آب شرب و کشاورزی را برای تصمیم گیرندگان سهولت بخشد. بطوری که به محض تغییر حجم

مکعب آب) و نتایج ارزیابی چند معیاره در جداول (۸ و ۹) درج گردیده است.

جدول ۸. خروجی‌های مدل

| مقدار      | شرح                                   |
|------------|---------------------------------------|
| ۸۲/۲       | تخصیص شرب گلستان (میلیون مترمکعب)     |
| ۱۰/۵       | تخصیص کشاورزی گلستان (میلیون مترمکعب) |
| ۷/۳۳       | امتیاز نهایی سناریو                   |
| ۰/۰۹۷      | نرخ ناسازگاری                         |
| ۱۶,۷۳۲,۱۵۱ | هزینه سرمایه گذاری (میلیون ریال)      |
| ۱۴,۳۹۲,۴۳۳ | کل منافع (میلیون ریال)                |
| -۲,۳۳۹,۷۱۷ | فایده خالص (B-C)                      |
| ۰/۸۶       | نسبت فایده به هزینه (B/C)             |
| ۶/۰        | نرخ بازده داخلی (%)                   |
| ۱۱,۹۲۶     | متوسط هزینه یک متر مکعب آب - ریال     |

همانطور که جدول (۸) نشان می‌دهد در این سناریو که حداکثر آب شرب قابل تخصیص در نظر گرفته شده است نسبت فایده به هزینه ۰/۸۶ و متوسط هزینه یک متر مکعب آب معادل ۱۱۹۲۶ ریال بدست آمده است.

امتیاز کل این سناریو معادل ۷/۳۳ برآورد گردیده که در انتخاب آن بیشترین نقش را معیار اجتماعی و کمترین آن مربوط به معیار زیست‌محیطی می‌باشد که دلیل آن رعایت کلیه الزامات توسعه پایدار و تامین کامل کلیه نیازها در تامین آب مازاد قابل انتقال از حوضه مبدا می‌باشد. کلیه نیازها و خصوصا نیازهای زیست محیطی در حوضه مبدا بطور کامل تامین گردیده بطوری- که انتقال آب مازاد از این حوضه تبعات زیست‌محیطی کمتری بدنبال داشته است. امتیاز مربوط به زیرمعیارهای تعریف شده برای معیارهای اصلی نیز توسط مدل ارائه می‌شود که نتایج آن در جدول (۱۰) ارائه گردیده است.

جدول ۹. نتایج ارزیابی چندمعیاره

| امتیاز نهایی فنی | امتیاز نهایی اقتصادی | امتیاز نهایی منابع آب | امتیاز نهایی اجتماعی | امتیاز نهایی زیست محیطی | امتیاز نهایی کل |
|------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|
| ۱/۳۰             | ۱/۳۴                 | ۱/۳۲                  | ۲/۲۸                 | ۱/۰۹                    | ۷/۳۳            |

کاهش ابعاد کانالهای انتقال، امتیاز تامین مصالح موردنیاز بالا می‌باشد. از طرفی بهره‌برداری از سامانه انتقال آب شرب که بصورت خط لوله می‌باشد نیز دارای سهولت بیشتری می‌باشد. در معیار اقتصادی نیز بیشترین امتیاز به فایده خالص سالانه و سرمایه‌گذاری اولیه اختصاص یافته است. هرچه فایده خالص بیشتر و هزینه سرمایه‌گذاری کمتر باشد، امتیاز بیشتری می‌گیرد.

امتیاز ارزیابی چندمعیاره نیز براساس وزن معیارهای اصلی و زیرمعیارها، با امتیازدهی هر سناریو محاسبه و در جدول جداگانه‌ای شامل امتیاز نهایی فنی، امتیاز نهایی اقتصادی، امتیاز نهایی منابع آب، امتیاز نهایی اجتماعی، امتیاز نهایی زیست‌محیطی و امتیاز نهایی کل مشابه با روشی که Roustana and Araghinejad, 2015 استفاده نموده بودند، ارائه می‌دهد و کاربر می‌تواند نتایج مدل را برای تصمیم‌گیری مشاهده نماید.

داده‌های ورودی به مدل در جدول (۷) ارائه شده است. در این جدول مقادیر تخصیص به شرب گلستان و تخصیص به کشاورزی گلستان و مجموع کل میزان تخصیص ارائه گردیده است. با توجه به محدودیت حجم قابل تخصیص به شرب که ناشی از حجم قابل تامین در سد مخزنی گله‌ورد می‌باشد، حداکثر میزان قابل تخصیص ۸۲/۲ میلیون مترمکعب می‌باشد. حجم کل آب قابل تخصیص نیز تابع حجم آب مازاد قابل انتقال از مازندران پس از تامین کلیه نیازهای حوضه مبدا معادل ۱۷۳/۴۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. لذا با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها می‌توان سناریوهای مختلف برای تخصیص شرب و کشاورزی را تعریف و نتایج را برای تصمیم‌گیری مشاهده نمود.

جدول ۷. داده‌های ورودی به مدل

| مقدار | شرح                                   |
|-------|---------------------------------------|
| ۸۲/۲  | تخصیص شرب گلستان (میلیون مترمکعب)     |
| ۱۰/۵  | تخصیص کشاورزی گلستان (میلیون مترمکعب) |
| ۹۲/۷  | جمع کل                                |

میزان تخصیص منابع آب در این سناریو منطبق بر مقادیر تخصیص یافته در گزینه منتخب می‌باشد که بعنوان ورودی به مدل سامانه تصمیم‌یار چندمعیاره داده شده و نتایج خروجی مدل شامل شاخص‌های اقتصادی (هزینه سرمایه‌گذاری، کل منافع، فایده خالص، نسبت فایده به هزینه و متوسط هزینه یک متر

با توجه به اینکه ارزش زمین خصوصا در مسیر انتقال که از جنگل و اراضی شالیزاری و زراعی عبور می‌نماید، بسیار بالا بوده و ابعاد سامانه انتقال آب نیز تابع حجم کل آب تخصیص یافته می‌باشد، لذا هزینه استملاک و مصالح مورد نیاز برای اجرای کانال، فلوم، خط لوله نیز زیاد بوده، پارامتر تاثیرگذاری می‌باشد. در این سناریو بعلت کم بودن حجم آب تخصیصی به کشاورزی و

که بعلت کم بودن میزان تخصیص کشاورزی، در این سناریو زیرمعیار سرمایه‌گذاری اولیه نیز امتیاز بالایی به خود اختصاص داده است.

در این سناریو حداکثر تخصیص شرب اعمال گردیده و بعلت ارزش حاصل از تامین آب شرب، امتیاز فایده خالص بیشتر شده است. از طرفی بیشترین هزینه مربوط به ذخیره‌سازی آب مازاد در حوضه مقصد و سامانه انتقال آب برای کشاورزی می‌باشد

جدول ۱۰- نتایج امتیازهای معیارها و زیرمعیارها

| معیار      | زیرمعیار   | امتیاز کل زیرمعیار | امتیاز کل معیار |
|------------|--|--------------------|-----------------|
| فنی        | تکنولوژی اجرا  | ۰/۱۵               | ۱/۳۰            |
|            | سهولت اجرا   | ۰/۰۸               |                 |
|            | بهره‌برداری مرحله‌ای   | ۰/۰۸               |                 |
|            | سهولت بهره‌برداری  | ۰/۲۴               |                 |
|            | سهولت نگهداری  | ۰/۱۱               |                 |
|            | سطح دسترسی به اطلاعات پایه   | ۰/۱۱               |                 |
|            | پدافند غیرعامل   | ۰/۰۸               |                 |
|            | تامین مصالح مورد نیاز  | ۰/۴۵               |                 |
| اقتصادی    | فایده خالص سالانه  | ۰/۴۱               | ۱/۳۴            |
|            | سرمایه گذاری اولیه   | ۰/۴۹               |                 |
|            | نرخ بازده داخلی  | ۰/۲۲               |                 |
|            | ریسک تحقق فایده خالص سالانه  | ۰/۱۱               |                 |
| زیست محیطی | امکان تحقق سایر درآمدها  | ۰/۱۱               | ۱/۰۹            |
|            | محیط فیزیکی شیمیائی  | ۰/۲۸               |                 |
|            | محیط بیو اکولوژیکی<br>آلاینده‌ها   | ۰/۶۸<br>۰/۱۳       |                 |
| اجتماعی    | سهولت استملاک اراضی  | ۰/۸۶               | ۲/۲۸            |
|            | تقاطع با محیط انسان ساخت   | ۰/۲۶               |                 |
|            | جمعیت متاثر حوضه تامین کننده   | ۰/۳۱               |                 |
|            | تمایلات ذیمدخلان   | ۰/۲۲               |                 |
|            | پتانسیل بروز تعارضات منطقه ای  | ۰/۳۹               |                 |
| منابع آب   | اشتغال زایی  | ۰/۲۴               | ۱/۳۲            |
|            | حجم آب انتقالی   | ۰/۱۲               |                 |
|            | حجم مخزن مورد نیاز برای تنظیم  | ۰/۱۸               |                 |
|            | قابلیت تامین نیازها در حوضه مقصد   | ۰/۱۸               |                 |
|            | نسبت آب مصرف شده به منتقل شده  | ۰/۲۸               |                 |
|            | ریسک تحقق آب مازاد در حوضه مبدا<br>تاثیر محل آبیگری بر پتانسیل آب زیرزمینی | ۰/۳۲<br>۰/۲۵       |                 |

کننده، بیشترین نقش را ایفا نموده‌اند. کاهش ابعاد سامانه انتقال آب کشاورزی ناشی از تخصیص کم آب کشاورزی، باعث سهولت بیشتر استملاک اراضی می‌گردد. از طرفی کاهش میزان آب تخصیصی به کشاورزی، باعث بروز کمتر تعارضات منطقه‌ای و جمعیت کمتر متاثر در حوضه مبدا می‌گردد. ریسک تحقق آب مازاد در حوضه مبدا، نسبت آب مصرف

در معیار زیست محیطی نیز محیط بیواکولوژیکی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است که ناشی از تخریب و صدمه کمتر سامانه انتقال آب به اکوسیستم‌های خشکی و آبی و نیز زیستگاه‌ها و مناطق حساس و حیات وحش می‌باشد. در امتیاز معیار اجتماعی، سهولت استملاک اراضی، پتانسیل بروز تعارضات منطقه‌ای و جمعیت متاثر حوضه تامین

برداشت از منابع آب زیرزمینی در حوضه‌های مبدا و مقصد در تامین آب مازاد قابل انتقال نقش دارند، چراکه بخشی از نیازها توسط منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردند، لذا در معیار منابع آب، محل آبیگری بر پتانسیل آب زیرزمینی تاثیرگذار می‌باشد. جهت بررسی نتایج خروجی مدل، چند سناریوی مختلف برای تخصیص آب شرب و کشاورزی تعریف گردیده و نتایج خروجی‌های مدل در جدول (۱۱) درج شده است.

شده به منتقل شده و تاثیر محل آبیگری بر پتانسیل آب زیرزمینی بیشترین تاثیر را در امتیاز معیار منابع آب دارند. از آنجا که تحقق آب مازاد بعثت تغییرات درازمدت در دوره آماری و نیز تغییرات نیازها و منابع آب با ریسک همراه می‌باشد، تخصیص کمتر آب به کشاورزی امتیاز این معیار را افزایش می‌دهد. از طرفی برای انتقال آب از حوضه مبدا به حوضه مقصد، اجرای بخش‌هایی از سامانه انتقال آب ضروریست و هزینه‌های ثابتی را بدنبال دارد، لذا حداکثر استفاده از آب انتقال یافته از اهمیت بالایی برخوردار است.

جدول ۱۱. نتایج مدل ارزیابی چندمعیاره و ارزیابی اقتصادی برای چند سناریوی تخصیص نمونه

| شماره سناریو | حجم تخصیص (میلیون مترمکعب) |         | شاخص‌های اقتصادی                 |                        |            | ارزیابی چندمعیاره |
|--------------|----------------------------|---------|----------------------------------|------------------------|------------|-------------------|
|              | شرب                        | کشاورزی | هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون ریال) | کل منافع (میلیون ریال) | فایده خالص |                   |
| یک           | ۸۲/۲                       | ۱۰/۵    | ۱۶،۷۳۲،۱۵۱                       | ۱۴،۳۹۲،۴۳۳             | -۲،۳۳۹،۷۱۷ | ۷/۳۳              |
| دو           | ۸۲/۲                       | ۹۱/۲    | ۱۹،۸۶۳،۳۳۶                       | ۱۷،۵۹۳،۷۹۲             | -۲،۲۶۹،۵۴۴ | ۶/۲۳              |
| سه           | ۷۰                         | ۱۰۳/۴   | ۲۰،۳۳۶،۷۰۰                       | ۱۶،۹۴۹،۷۱۱             | -۳،۳۸۶،۹۸۸ | ۴/۹۹              |
| چهار         | ۵۰                         | ۱۲۳/۴   | ۲۰،۹۴۳،۰۴۲                       | ۱۵،۸۹۳،۸۴۲             | -۵،۰۴۹،۲۰۰ | ۳/۳۶              |
| پنج          | ۳۰                         | ۱۴۳/۳   | ۲۱،۵۱۹،۱۶۷                       | ۱۴،۸۳۷،۹۷۳             | -۶،۶۸۱،۱۹۴ | ۲/۷۹              |

در سایر سناریوها، کل آب قابل تخصیص به شرب و کشاورزی اختصاص یافته و ملاحظه می‌شود که با کاهش تخصیص آب به شرب و افزایش تخصیص آب به کشاورزی هم شاخصهای اقتصادی و هم امتیاز ارزیابی چندمعیاره کاهش می‌یابد. دلیل آن هم علاوه بر افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و کاهش منافع حاصل از تخصیص، کاهش امتیاز سایر معیارها همچون معیارهای اجتماعی، زیست‌محیطی، اقتصادی، منابع آب و فنی می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در طرح‌های توسعه منابع آب بعثت محدودیت‌های منابع تولید و نامحدود بودن نسبی نیازها، هدف‌های اقتصادی ظاهراً در تقابل با هدف‌های حفاظت محیط‌زیست و منابع طبیعی قرار می‌گیرند. در چنین وضعیتی روش‌های سنتی برنامه‌ریزی نمی‌تواند جوابگوی خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران باشد. با پیشرفت های علمی و تلاش محققان در دهه‌های اخیر، روش‌های نوینی همچون ارزیابی چندمعیاره در برنامه‌ریزی به وجود آمده که با به‌کارگیری آن‌ها در شرایط تضاد داشتن هدف‌های مدیران و محدود بودن منابع تولید می‌توان بهترین جواب‌ها را برای

بررسی نتایج خروجی مدل که برای ۵ سناریوی مختلف ارائه شده است، نشان می‌دهد که سناریوی ردیف یک با حداکثر میزان تخصیص آب به شرب (۸۲/۲ میلیون مترمکعب) و حداقل میزان تخصیص آب به کشاورزی بیشترین امتیاز در ارزیابی چندمعیاره را به خود اختصاص می‌دهد. در این سناریو از آنجا که مجموع آب تخصیصی از کل آب قابل تخصیص کمتر می‌باشد، هزینه یک مترمکعب آب بیشتر از سایر سناریوها بدست آمده است.

در سناریوی ردیف دو، بیشترین حجم قابل تخصیص به آب شرب (۸۲/۲ میلیون مترمکعب) و بیشترین حجم قابل تخصیص به آب کشاورزی (۹۱/۲ میلیون مترمکعب) در نظر گرفته شده است. در این حالت شاخص‌های اقتصادی مقداری بهبود می‌یابد ولی امتیاز کل حاصل از ارزیابی چندمعیاره از سناریوی ردیف یک کمتر می‌شود و نشان می‌دهد شاخص‌های اقتصادی به تنهایی نمی‌توانند برای انتخاب سناریوهای تخصیص منابع آب در نظر گرفته شوند و نقش ارزیابی چندمعیاره را در تخصیص منابع آب همانگونه که محققین دیگری هم بدان رسیده بودند ( Calizaya et al., 2010, Choi et al., 2012, Shahraki and Mohseni, 2013)، نشان می‌دهد.

و حداکثر میزان قابل تخصیص آب به کشاورزی معادل ۹۱/۲ میلیون مترمکعب اختصاص داده شود، شاخص‌های اقتصادی بهبود می‌یابد بطوریکه نسبت فایده به هزینه معادل ۰/۸۹ و بهای تمام شده یک مترمکعب ۹۷۳۶ ریال می‌شود، ولی نتایج ارزیابی چندمعیاره امتیاز کل ارزیابی این سناریو را ۶/۲۳ نشان می‌دهد که از سناریوی اصلی کمتر می‌باشد و در آن بیشترین تاثیر را معیارهای اجتماعی و زیست محیطی داشته‌اند.

با توجه به این که استان‌های مازندران (زیرحوضه هراز-نکا) و گلستان (زیرحوضه قره سو-گرگان) هر دو در حوضه آبریز دریای مازندران واقع شده‌اند ولی در تصمیم‌گیری‌ها، پیامدهای اجتماعی و زیست محیطی دو استان تاثیرگذار می‌باشند که می‌بایست به درستی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. این پژوهش نشان داد که در تصمیم‌گیری برای انتقال آب نباید فقط به تعریف حوضه‌های آبریز از دیدگاه هیدرولوژیکی اکتفا کرد، بلکه حوضه سیاسی و تقسیمات استانی نیز می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

دستیابی به این هدف‌ها پیدا کرد.

در این پژوهش سامانه تصمیم‌یار چندمعیاره برای تخصیص منابع آب یک حوضه آبریز به منظور انتقال آب به حوضه آبریز دیگر توسعه یافت و عملکرد آن با تحلیل نتایج حاصل از تخصیص‌های گوناگون به شرب و کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت. مهمترین نکاتی که از تحلیل سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب استخراج می‌شود نشان از این دارد که اولاً در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی به تنهایی نمی‌تواند منجر به تصمیم درست در چگونگی تخصیص منابع آب و خصوصاً انتقال آب از حوضه مبدا به حوضه مقصد باشد. در سناریوی اصلی ۸۲/۲ میلیون مترمکعب به شرب و ۱۰/۵ میلیون مترمکعب به کشاورزی اختصاص یافته که شاخص‌های اقتصادی آن شامل، نسبت فایده به هزینه معادل ۰/۸۶ و بهای تمام شده یک مترمکعب ۱۹۲۶ ریال می‌باشد و امتیاز کل ارزیابی این سناریو ۷/۳۳ بدست آمده است، در حالی که چنانچه ۸۲/۲ میلیون مترمکعب به شرب

## REFERENCES

- Calizaya, A., Meixner, O., Bengtsson, L. and Berndtsson, R. (2010) Multi-criteria decision analysis (MCDA) for integrated water resources management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia. *Water Resources Management*, 24(10), 2267-2289.
- Chitsaz, N. and Azarnivand, A. (2017) Water scarcity management in arid regions based on an extended multiple criteria technique. *Water Resources Management*, 31(1), 233-250.
- Choi, S.J., Kim, J.H. and Lee, D.R. (2012) Decision of the water shortage mitigation policy using multi-criteria decision analysis. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(2), 247-253.
- Davijani, M.H., Banihabib, M.E., Anvar, A.N. and Hashemi, S.R. (2016) Multi-objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. *Water resources management*, 30(3), 927-946.
- Dunning, D.J., Ross, Q.E. and Merkhofer, M.W. (2000) Multiattribute utility analysis for addressing Section 316 (b) of the Clean Water Act. *Environmental Science & Policy*, 3, 7-14.
- Flug, M., Seitz, H.L. and Scott, J.F. (2000) Multicriteria decision analysis applied to Glen Canyon Dam. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(5), 270-276.
- Hafezparast, M., Sh. Araghinejad, (2015) water resources Decision Support System with Quantitative Indicators (case study, Aras Basin), *Iranian Water Research Journal*, 9 (2), 101-110. (In Farsi)
- Hajkowicz, S. and Collins, K. (2007) A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water resources management*, 21(9), 1553-1566.
- He, J., Zhang, Y. and Shi, Y. (2007) November. A multi-criteria decision support system of water resource allocation scenarios. *Proceedings of the International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management* (pp. 593-598). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Joubert, A., Stewart, T.J. and Eberhard, R. (2003) Evaluation of water supply augmentation and water demand management options for the City of Cape Town. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12(1), 17-25.
- Rousta, B.A. and Araghinejad, S. (2015) Development of a multi criteria decision making tool for a water resources decision support system. *Water Resources Management*, 29(15), 5713-5727.
- Savić, D.A., Bicić, J. and Morley, M.S. (2011) A DSS generator for multiobjective optimisation of spreadsheet-based models. *Environmental modelling & software*, 26(5), 551-561.
- Shahraki, J. and Mohseni, S. (2013) Compromise multi criteria decision making application in water resources optimal allocation case study Yazd city. *Journal of Irrigation and water Engineering*, 15(3), 107-113. (In Farsi)