

انتخاب بهترین سناریوی تخصیص منابع آب حوضه کارون با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری اجتماعی

آزاده احمدی^{۱*}، میلاد مهرپرور^۲ و علی مریدی^۳

چکیده

کمبود آب در ایران یکی از عوامل محدود کننده اصلی توسعه فعالیت‌های اقتصادی در دهه‌های آینده به شمار می‌رود، به همین دلیل دستیابی به تعادل نسبی در زمینه عرضه و مصرف آب یک اصل اساسی و ضروری است. در این پژوهش مدیریت در تخصیص منابع آب حوضه آبریز کارون با دیدگاه حل اختلاف مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مادسیم و با بررسی هفت سناریو، عملکرد مدل شبیه‌سازی و ارزیابی شد و سپس از روش‌های رفع اختلاف مانند رویکرد انتخاب اجتماعی بر پایه رأی‌گیری سناریوها برای انتخاب بهترین استفاده شد. سناریوی ۴ با امتیاز ۷ در روش کاندورست، ۴۴ در روش نمره‌دهی بردا و کسب آراء به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. همچنین از شاخص پایداری در رفتار که در جستجوی گزینه‌ای با کمترین میزان ناعدالتی بین صاحبان سود است، برای ارزیابی دوباره و انتخاب بهترین سناریو استفاده شده است. در انتها سناریوی چهار شامل بهره‌برداری از طرح‌های مطالعاتی به همراه مدیریت تقاضا و طرح‌های تعادل‌بخشی آبخوان‌ها با شاخص ۱/۱۸ انتخاب شد. میزان شاخص پایداری حداقل این سناریو در مقایسه با سایر سناریوها نشان دهنده وجود کمترین سطح نارضایتی‌ها بین صاحبان سود در این سناریو در مقایسه با سایر سناریوها است.

واژه‌های کلیدی: انتخاب اجتماعی، برنامه‌ریزی حوضه آبریز، تخصیص منابع آب، تکرار چانه‌زنی، شاخص پایداری.

ارجاع: احمدی آ. مهرپرور م. و مریدی ع. ۱۳۹۴. انتخاب بهترین سناریوی تخصیص منابع آب حوضه کارون با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری اجتماعی. مجله پژوهش آب ایران. ۱۹: ۲۱-۳۰.

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- کاندیدای دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی.

* نویسنده مسئول: aahmadi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

محدودیت منابع و افزایش نیازهای آبی که خود ناشی از افزایش جمعیت و توسعه شهرها و سیاست‌های جدید مدیریت جامعه است، سبب بروز مشکلات و اختلاف در تخصیص آب می‌شود. وظیفه مدیران ارشد، تخصیص منابع به صاحبان سود به گونه‌ای است که اختلاف نظرات بر سر منابع در آن در نظر گرفته شده باشد که به این فرآیند، حل اختلاف^۱ می‌گویند (مریدی و کارآموز، ۱۳۸۵). اختلافات بر سر منابع آب فقط به مقادیر سود و هزینه محدود نمی‌شود، بلکه این بحث‌ها می‌تواند از معیارهای اجتماعی و سیاسی در طراحی، اجرا و مدیریت پروژه‌های آبی نیز نشأت بگیرد. به همین دلیل باید تصمیم‌گیرندگان در کنار معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و مالی مسائل اجتماعی و سیاسی را نیز در نظر بگیرند (مهرپرور، ۱۳۹۱). این اختلافات می‌تواند تحت تأثیر عواملی از جمله مسائل اجتماعی، عوامل زیست‌محیطی، رشد جمعیت، تغییر اقلیم (که خود سبب تشدید شدت خشکسالی و یا اثرات مخرب سیلاب‌ها می‌شود) تشدید شود (مدنی و هیپل، ۲۰۱۱).

از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی، با پیشرفت تکنولوژی در علوم گوناگون توجه به مدل‌سازی در تخصیص منابع افزایش یافت. تخصیص منابع آب سبب می‌شود که صاحبان سود آب را برای هدف‌های سودمند مطابق با قانون‌ها و اولویت‌های پذیرفته شده در منطقه به کار گیرند. پژوهش‌های زیادی در زمینه بررسی اثرات تخصیص منابع آب به کمک مدل‌های شبیه‌سازی در حوضه‌های آبریز انجام شده است. تاکنون در سطح جهان، برای انجام این بررسی‌ها نرم‌افزارهای گوناگونی از جمله مدل‌های مادسیم^۲، ریباسیم^۳، مایک بیسین^۴ و ویپ^۵ توسعه داده شده است. مقایسه مدل‌های ذکر شده از جمله موضوع‌های بحث شده در بعضی از پژوهش‌ها است (زارع‌زاده، ۱۳۸۹). وربز^۶ (۲۰۰۱)، چن و همکاران (۲۰۰۵)، هاگان (۲۰۰۷)، لیمهویی^۳ و همکاران (۲۰۰۹)، سچی و سولیس (۲۰۱۰)، کریمی و موسوی (۱۳۹۰)، محمودپور نیچالانی و باقری (۱۳۹۰) و باقری هارونی و مرید (۱۳۹۲) عملکرد

مدل‌های مختلفی از جمله هک‌پرو^۷، مایک بیسین، مادسیم و رپ^۸، ورگی-سیم^۹، ریباسیم، آکواتول^{۱۰} و ویپ را در مسائل تخصیص منابع آب بررسی کردند. در این پژوهش، با توجه به قابلیت‌های ذکر شده مدل مادسیم در پژوهش‌های گذشته و همچنین در دسترس بودن این نرم‌افزار به صورت آزاد، از آن برای شبیه‌سازی حوضه مورد بررسی استفاده شده است. این بسته نرم‌افزاری توسط شافر و لابادیه (۱۹۷۸) به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری^{۱۱} برای مدیریت در تخصیص آب حوضه‌های رودخانه‌ای ارائه شد.

وجود صاحبان سود متعدد در حوضه‌های آبریز با مطلوبیت‌های متفاوت، تصمیم‌گیری در تخصیص منابع را پیچیده کرده است. امروزه روش‌های متفاوتی بر پایه نظرسنجی و دیدگاه صاحبان سود به جستجوی حل و فصل مناقشات و یا اختلافات موجود بین مصرف‌کنندگان به‌خصوص در مواقعی که سیستم دچار مشکلاتی همچون بحران کمبود آب شده است، به کار گرفته می‌شود. روش‌های انتخاب اجتماعی^{۱۲} در یک چارچوب نظری برای اندازه‌گیری سلیقه‌ها، ارزش‌ها و رفاه، به عنوان یک تصمیم جمعی است که این نظریه از فرموله کردن تناقض رأی‌گیری کاندورست^{۱۳} شروع شد (بست و پرسکی، ۱۹۹۹). از دیگر معیارهای ارزیابی می‌توان به نظریه تکرار چانه‌زنی^{۱۴} (برامز و کیلگور، ۲۰۰۱) که به طور کلی به ارزیابی گزینه‌ها یا سناریوهای مختلف می‌پردازد، اشاره کرد. شیخ‌محمدی و مدنی (۲۰۰۸) با استفاده از روش‌های مذکور به بررسی سناریوهای مختلف در مسئله میزان سهم بهره‌برداری از نفت و گاز دریای خزر بین ۵ کشور حومه آن پرداختند. مدنی و دینار (۲۰۱۲) از این شاخص برای بررسی عملکرد مدل‌های همکارانه نظریه بازی‌ها در مسائل اقتصادی و سود رسانی در زمینه منابع آب، استفاده کردند. در مدل‌های همکارانه صاحبان سود برای دستیابی به هدف‌های خود بر پایه اصول و قانون‌های در قالب همکاری به توافق می‌رسند. زارع‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تخصیص آب رودخانه قزل اوزن بین ۸ استان برای

7- HEC-PREPRO

8- WRAP (Water Right Analysis Package)

9- WARGI-SIM

10- AQUATOOL

11- Decision Support System

12- Social Choice

13- Condorcet

14- Fallback Bargaining

1- Conflict Resolution

2- MODSIM

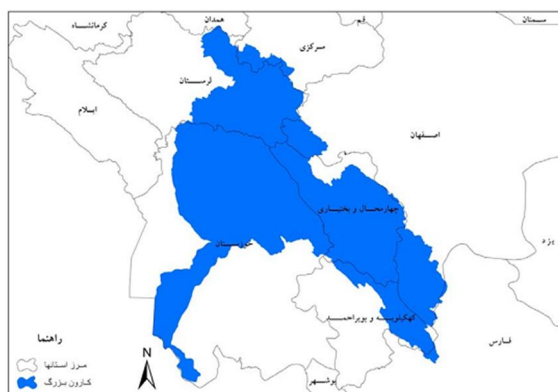
3- RIBASIM

4- MIKE BASIN

5- WEAP

6- Wurbs

مصارف آب حوضه در بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی همگام با افزایش جمعیت و روند توسعه بر پایه نتایج طرح‌های جامع تنظیم شده است. میزان مصرف از منابع آب سطحی و زیرزمینی در سال ۱۳۸۵ در حوضه کارون، ۱۱۵۲۳ میلیون مترمکعب بوده است که از این مقدار ۹۴۵۳ میلیون مترمکعب از منابع آب سطحی و ۲۰۷۰ میلیون مترمکعب نیز از منابع آب زیرزمینی تأمین شده و ۷۹٪ مصرف در بخش کشاورزی بوده است (مهندسیین مشاور بهان سد، ۱۳۹۲). عدم هماهنگی و تعادل بین عرضه و تقاضا، هدررفت آب در شبکه‌های توزیع آب شهری، مشکلات زیست‌محیطی از جمله شوری آب، طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای و انرژی برقایی از دلایل محدودیت در تأمین آب در این حوضه به شمار می‌رود.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز کارون

مدل برنامه‌ریزی حوضه آبریز

در این پژوهش برای شبیه‌سازی حوضه مورد بررسی از مدل شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی منابع آب مادسیم استفاده شد. اساس کار این مدل بر پایه پیکره‌بندی تعریف شده یک حوضه شامل گره‌های مخزنی (سدها و آبخوان‌ها)، گره‌های مصرف‌کننده و موقعیت آن‌ها و همچنین خطوط ارتباطی شامل آبراهه‌ها و کانال‌ها که گره‌های مذکور را به یکدیگر ارتباط می‌دهند (لینک‌ها) است. مکانیزم شبیه‌سازی حوضه براساس الگوریتم بهینه‌سازی در هر گام زمانی است (لابادیه، ۲۰۱۰).

برای واسنجی مدل، مقادیر حاصل از مدل شامل تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های حوضه و مقادیر آبدی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری با شرایط واقعی مقایسه شده است.

ارزیابی روش‌های تخصیص زیاد با روش‌های انتخاب اجتماعی بررسی خود را پیش بردند. از دیگر معیارهای ارزیابی شاخص پایداری در رفتار^۱ است که توسط لواهمن و همکاران (۱۹۷۹) ارائه شده است. در این ارزیابی معیار کار، جستجوی گزینه‌ای است که تا حد امکان عدالت بین همه صاحبان سود برقرار شود.

در این پژوهش هدف انتخاب بهترین سناریو تخصیص منابع آب حوضه آبریز براساس حداکثرسازی مطلوبیت صاحبان سود با استفاده از روش‌های گزینش اجتماعی است. برای تخصیص آب بین ۶ استان در حوضه رودخانه کارون از مدل برنامه‌ریزی مادسیم با در نظر گرفتن سناریوهای متفاوت، وضعیت آینده این حوضه بررسی می‌شود. برای ارزیابی سناریوهای مختلف از روش‌های متفاوت همچون نظریه انتخاب اجتماعی، تکرار چانه‌زنی و شاخص پایداری در رفتار استفاده شده است. در نهایت سناریوهای مختلف اولویت‌بندی شده و بهترین سناریو ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

بررسی موردی

حوضه آبریز کارون بزرگ با مساحت ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع ۴/۲٪ از مساحت کل کشور را در برمی‌گیرد. حوضه مطالعاتی رودخانه کارون با توجه به شکل ۱ در محدوده ۸ استان اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، مرکزی، فارس و همدان قرار دارد. شیب عمومی و جهت جریان آب‌های سطحی در حوضه آبریز کارون در ابتدا بیشتر از سمت شمال به جنوب و در حوضه دز نیز شیب عمومی و جهت جریان در شاخه‌های ماربره و بختیاری در قسمت علیای حوضه از شرق به غرب است ولی در بقیه حوضه به طور تقریبی از شمال به جنوب است. حوضه‌های آبریز کارون بزرگ متشکل از رودخانه‌های دز و کارون بوده که در داخل ارتفاعات زاگرس میانی قرار دارند. بارندگی سالانه منطقه از ۱۵۳ میلی‌متر در بخش‌های جنوبی و کم ارتفاع تا حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر در بخش‌های کوهستانی و مرتفع متغیر است (مهندسیین مشاور بهان سد، ۱۳۹۲).

روش انتخاب اجتماعی

اساس تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه مناسب در این روش دیدگاه صاحبان سود است که میزان رأی و رتبه‌دهی صاحبان سود به گزینه‌ها مطرح می‌شود. در رویکرد تصمیم‌گیری اجتماعی مبنای حل اختلاف بر حداکثر آراء مدعیان است. از جمله روش‌های موجود در این زمینه می‌توان به روش‌های انتخابی کندرست، نمره‌دهی بردا^۱ و قانون رأی‌گیری میانه^۲ اشاره کرد. گام اول برای به کارگیری روش‌های ذکر شده، اولویت‌بندی سناریوهای تخصیص با دیدگاه صاحبان سود است.

روش انتخابی کاندورست

براساس روش کاندورست بهترین سناریو، سناریویی است که براساس حداکثر توافق مدعیان باشد. در این روش گزینه‌ها یا سناریوهای تخصیص به صورت رقابتی با یکدیگر مقایسه می‌شوند، بدین صورت که تمامی سناریوها یک به یک با یکدیگر رقابت می‌کنند و نتیجه یک رقابت یک به یک، پیروزی سناریویی است که بیشترین برد یا برتری را با انتخاب صاحبان سود کسب کرده است. در نهایت گزینه یا سناریویی به‌عنوان گزینه مناسب مدیریتی انتخاب می‌شود که بیشترین پیروزی را کسب کرده باشد (یونگ، ۱۹۹۵).

روش نمره‌دهی بردا

در روش بردا سناریوها با مدعیان نمره‌دهی می‌شوند و مجموع نمره‌های داده شده به هر سناریو محاسبه می‌شود. سپس گزینه‌ای انتخاب می‌شود که بیشترین نمره را کسب کرده باشد. نحوه نمره‌دهی به این صورت است که نمره هر سناریو برابر $m-i$ است که m برابر تعداد گزینه‌ها یا سناریوها بوده و پارامتر i نشان دهنده مرتبه اولویت سناریو نزد صاحبان سود مورد نظر است (یونگ، ۱۹۹۵).

روش قانون رأی‌گیری میانه

براساس تعداد m گزینه یا سناریو، m مرحله انتخاب مطرح می‌شود که در هر مرحله صاحبان سود به گزینه‌ها براساس اولویت‌بندی خود رأی می‌دهند. این امر طبیعی است که در انتخاب مرحله اول گزینه‌هایی که صاحبان سود را

بیشتر ارضاء کنند، رأی کسب خواهند کرد. با این وجود گزینه‌ای که بتواند بیشترین آراء که برای N بازیکن که برابر $1+[N]/2$ است را کسب کند به‌عنوان گزینه مناسب‌تر انتخاب خواهد شد. حال بیشترین آراء ممکن است در انتخاب اول، دوم، سوم و یا m ام کسب شود (بست و پرسکی، ۱۹۹۹).

نظریه تکرار چانه‌زنی

در این نظریه یک روند برگشت‌پذیری یا تکرار کردن چانه‌زنی برای جستجوی گزینه مناسب انجام می‌شود. صاحبان سود با انتخاب بهترین گزینه‌ها در انتخاب اول خود، چانه‌زنی را شروع کرده و با تکرار آن تا مرحله‌ای که حداقل مطلوبیت برای کلیه صاحبان سود برقرار شود، ادامه می‌دهند که این مسئله در رویکرد نظریه انتخاب اجتماعی در نظر گرفته نمی‌شود. روش کار همانند روش قانون رأی‌گیری میانه است، با این تفاوت که تا زمانی که کلیه آراء کسب نشود، گزینه مناسب انتخاب نمی‌شود (برامز و کیلگور، ۲۰۰۱).

شاخص پایداری در رفتار

این شاخص برای ارزیابی قدرت صاحبان سود به کار می‌رود که نحوه محاسبه این شاخص براساس رابطه‌های (۱) و (۲) است.

$$\alpha_i = \frac{V_i - X_i}{\sum_{j \in N} (V_j - X_j)}, \quad i \in N, \quad \sum_{i \in N} \alpha_i = 1 \quad (1)$$

$$S_\alpha = \frac{\sigma_\alpha}{\alpha} \quad (2)$$

که در آن‌ها V_i ادعای صاحبان سود i و X_i مقدار تخصیص داده شده به صاحبان سود هستند و همچنین S_α و α_i به ترتیب نمایانگر شاخص پایداری در رفتار و شاخص قدرت صاحبان سود i هستند. σ_α و $\bar{\alpha}$ از جمله پارامترهای آماری بوده که به ترتیب میزان انحراف معیار قدرت صاحبان سود و میانگین قدرت بازیکنان را نشان می‌دهند. مقادیر کوچک‌تر این شاخص نشانگر نزدیک بودن سطح‌های نارضایتی صاحبان سود به یکدیگر بوده و احتمال شکست سیاست به کار گرفته شده توسط صاحبان سود کمتر می‌شود. حتی در سناریویی که به دلیل محدودیت منابع آب کلیه صاحبان سود نارضی هستند،

بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی زیاد همراه با به کارگیری شیوه‌های نوین آبیاری، تغییرات اقلیمی و وضعیت محیط‌زیست و توسعه صنعت و کشاورزی که در برنامه‌های آینده حوضه به‌عنوان یکی از هدف‌های توسعه اقتصادی نقش به‌سزایی دارد، اشاره کرد. مشخصات سناریوهای در نظر گرفته شده در جدول ۱ آمده است.

ممکن است به‌دلیل اینکه نارضایتی در همه ذینفعان در یک سطح باشد، سناریوی مورد نظر پایدار تشخیص داده شود.

تعریف سناریوها

برای تدوین سناریوهای مناسب، شناسایی نیروهای محرک بیرونی ضروری است. از جمله این عوامل‌های محرک می‌توان به تغییرات فن‌آوری که شامل احداث و

جدول ۱- مشخصات سناریوهای در نظر گرفته شده

سناریو	نیازها و مصارف		منابع و طرح‌ها (وضع موجود)	طرح‌های اجرایی	مدیریت تقاضا	تبادل بخشی آبخوان‌ها	اثر خشکسالی	طرح‌های مطالعاتی	
	وضع موجود	افق طرح						بهبست آباد	غیر
سناریو صفر									
سناریو یک									
سناریو دو									
سناریو سه									
سناریو چهار									
سناریو پنج									
سناریو شش - یک									
سناریو شش - دو									

سناریوی ۲: سناریوی ۱ به علاوه طرح‌های اجرایی شرایط سناریوی ۲، همانند سناریوی ادامه وضع سال پایه (سناریو ۱) است با این تفاوت که در این سناریو بهره‌برداری از طرح‌هایی که در حال حاضر در دست اجرا هستند، نیز در نظر گرفته شده است.

سناریوی ۳: سناریوی ۲ به علاوه مدیریت تقاضا سناریوی ۳، شرایطی همانند سناریوی ۲ را دارد با این تفاوت که مدیریت تقاضا شامل اعمال شرب مطلوب و افزایش راندمان کشاورزی و در نهایت کاهش نیاز آبی کشاورزی در آن در نظر گرفته شده است.

سناریوی ۴: طرح‌های مطالعاتی به علاوه مدیریت تقاضا به علاوه تبادل بخشی آبخوان‌ها در این سناریو طرح‌های مطالعاتی که دارای تخصیص هستند به همراه مدیریت تقاضا و تبادل بخشی آبخوان‌ها

سناریو صفر: منابع، نیازها و مصارف آبی در سال پایه این سناریو بر مبنای منابع، نیازها و مصارف آبی در سال ۱۳۸۵ در نظر گرفته شده است.

سناریوی ۱: نیازها و مصارف آبی در افق طرح، منابع آب و طرح‌ها در شرایط سال پایه

در این سناریو طرح‌های توسعه منابع آبی در نظر گرفته شده است و فرض شده است منابع آب بهره‌برداری شده همانند شرایط سال پایه و بدون اضافه شدن طرح‌های در دست اجرا و در حال بررسی در نظر گرفته شده است می‌باشد. همچنین نیازها بدون اعمال راهکارهای مدیریتی روند افزایشی داشته و راندمان کشاورزی با وجود توسعه تا افق ۱۴۲۰، در شرایط وضع سال پایه و بدون ارتقا در نظر گرفته شده است. همچنین طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در این سناریو در نظر گرفته نشده است.

سناریوی جداگانه تقسیم شده که در سناریوی "۱-۶" طرح بهشت‌آباد و در سناریوی "۲-۶" طرح غدیر به‌عنوان طرح‌های انتقال آب در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

با اعمال سناریوهای طرح در مدل برنامه‌ریزی، نتایج تخصیص آب به ۶ گروه از صاحبان سود (مصرف کننده آب) که شامل استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد، مرکزی و خوزستان هستند، تعیین شده و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

در شکل ۲ مقادیر کسری آب مخزن‌های زیرزمینی در سناریوهای مختلف حوضه کارون نشان داده شده است. بیشترین کسری مخزن‌ها حدود ۳۶ میلیون مترمکعب و مربوط به سناریوهای صفر و یک است و پس از آن بیشترین کسری مربوط به سناریوی دو به میزان ۳۱ میلیون مترمکعب است.

از طریق آبیاری کم در محدوده‌هایی که دارای بیلان منفی هستند تا حدی که کسری مخزن آبخوان‌ها به صفر برسد، در این سناریو در نظر گرفته شده است

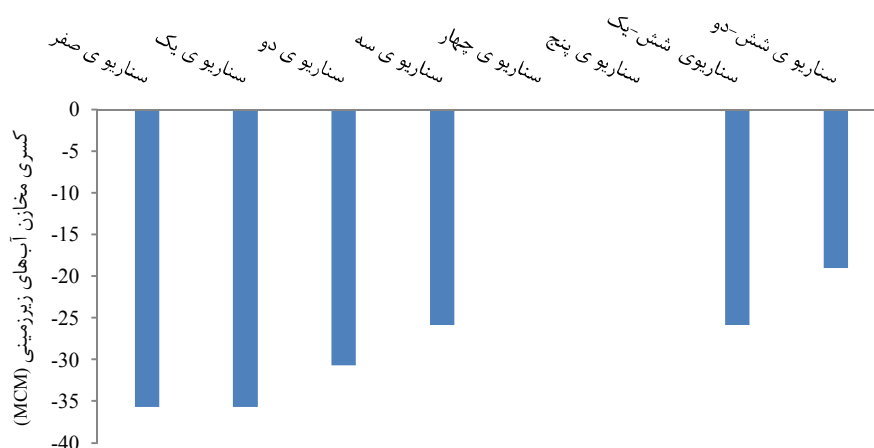
سناریوی ۵: سناریوی ۴ به علاوه در نظر گرفتن اثر خشکسالی

سناریوی ۶: سناریوی ۳ به علاوه مهم‌ترین طرح‌های مطالعاتی حوضه به‌صورت منفرد

این سناریو منطبق بر سناریوی ۳ و در نظر گرفتن مهم‌ترین طرح‌های مطالعاتی حوضه به‌صورت منفرد برای بررسی تأثیر آن‌ها است. طرح‌های منتخب جهت بررسی در این سناریو شامل طرح بهشت‌آباد با حجم انتقال آب ۵۸۰ میلیون مترمکعب از حوضه کارون به زاینده‌رود و طرح غدیر با حجم انتقال آب ۷۸۰ میلیون مترمکعب از حوضه کرخه به کارون به‌عنوان دو طرح انتقال آب با حجم انتقال و اهمیت زیاد است. این سناریو به‌صورت دو

جدول ۲- نتایج تخصیص در ۶ سناریوی طرح (MCM)

سناریو	لرستان	چهارمحال و بختیاری	کهگیلویه و بویراحمد	اصفهان	مرکزی	خوزستان
صفر	۱۳۳۰	۲۰۷۳	۴۶۴	۳۲۳	۹۸	۷۸۸۷
یک	۱۳۴۶/۲	۲۰۹۹/۴	۴۸۸	۳۱۴/۷	۹۸/۷	۸۰۳۶/۱
دو	۱۶۱۹/۵	۲۵۰۵/۷	۵۲۶/۳	۳۲۹/۲	۱۸۱/۲	۷۷۸۷/۶
سه	۱۴۸۹/۱	۲۲۰۷/۶	۴۵۷/۲	۲۹۹/۶	۱۶۷/۷	۶۸۵۰/۲
چهار	۱۵۳۶/۴	۲۶۲۶/۲	۴۵۷/۲	۴۳۰	۱۶۷/۹	۹۹۹۷/۶
پنج	۱۵۱۱/۴	۲۳۱۰/۱	۴۵۲	۴۲۸/۹	۱۵۰/۷	۹۵۶۶/۴
شش-یک	۱۴۸۹/۱	۲۲۰۶/۷	۴۵۷/۲	۲۹۹/۶	۱۶۷/۷	۶۸۴۸/۹
شش-دو	۱۴۸۹/۱	۲۲۰۷/۶	۴۵۷/۲	۲۹۹/۶	۱۶۷/۷	۷۳۳۶/۱



شکل ۲- مقادیر کسری آب مخزن‌های زیرزمینی در سناریوهای مختلف حوضه کارون

انتخاب سناریوی برتر

علاوه بر شش مصرف‌کننده آب در این حوضه، صاحبان سود هفتم یعنی مطلوبیت کاهش کسری مخزن‌های زیرزمینی که می‌تواند به‌عنوان معرف برای رفع بحران کمبود آب در منطقه باشد، نیز در این انتخاب در نظر گرفته شده است. گام اول برای به کارگیری روش‌های ارزیابی انتخاب اجتماعی و تکرار چانه‌زنی، اولویت‌بندی سناریوهای تخصیص با دیدگاه صاحبان سود است. براساس جدول ۳ ترتیب اولویت‌بندی سناریوها را براساس میزان تخصیص آب به هر یک از استان‌ها نشان می‌دهد به طوری که اولویت ۱ نشان‌دهنده بالاترین اولویت بوده و اولویت ۸ پایین‌ترین سطح اولویت است.

براساس روش کاندورست در هر سلول جدول ۴ رقابت بین دو گزینه ذکر شده است، برای مثال نتیجه رقابت بین سناریوی یک و دو در سطر سوم به صورت ۶-۱ نمایش داده شده است که نشان دهنده یک برد و ۶ شکست برای سناریوی یک در مقابل سناریوی دو است، پس نتیجه این رقابت عدم پیروزی برای سناریوی یک است. گزینه یا سناریویی به‌عنوان گزینه مناسب مدیریتی انتخاب می‌شود که بیشترین پیروزی را کسب کرده باشد. بر این اساس سناریوی چهارم با کسب ۷ پیروزی در جایگاه اول برای به کارگیری گزینه مناسب مدیریتی از دیدگاه صاحبان سود انتخاب می‌شود.

در روش نمردهی بردا که صاحبان سود براساس آب تخصیصی به آن‌ها، سناریوهای مختلف را رتبه‌دهی می‌کنند، سناریویی که بیشترین نمره را کسب کرده باشد به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب می‌شود. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۵ سناریوی چهارم بیشترین نمره را کسب کرده است.

در روش قانون رأی‌گیری میانه، سناریو بهینه براساس به دست آوردن بیشترین آراء مشخص می‌شود. از بین هفت مدعی درگیر، سناریویی که بتواند حداقل چهار $(1 + \frac{7}{5} = 2.4)$ رأی که بیانگر حداکثر آراء است را کسب کند، به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب می‌شود. حال به دست آوردن این رأی ممکن است در انتخاب اول، دوم و یا سوم باشد. بر همین اساس چنانچه انتخابات در ۸ مرحله براساس تعداد سناریوها انجام شود، تعداد آراء کسب شده در هر مرحله برای هر سناریو براساس جدول ۶ است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدا سناریوی چهارم با

کسب ۴ رأی، بیشترین مقدار آراء که برابر ۴ است را به دست آورده و به دنبال آن سناریو دوم و پنجم این حداکثر مقدار را به ترتیب در انتخاب‌های دوم و سوم کسب کرده‌اند و سناریوی چهارم در انتخاب دوم ۲ رأی دیگر کسب کرده و مجموع آراء کسب شده این سناریو برابر ۶ می‌شود. چنانچه اساس کار بر روش تکرار چانه‌زنی باشد، اتخاذ کلیه آراء مورد نظر است که تعداد کل آراء برابر ۷ می‌باشد و همان‌طور که مشاهده می‌شود سناریوی چهارم کلیه آراء را در انتخاب مرحله چهارم کسب کرده است و این مسئله بدان معنا است که با ۴ مرحله تکرار چانه‌زنی، سناریوی ۴ به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب می‌شود.

شاخص پایداری در رفتار به ترتیب ۲/۳۳، ۲/۳، ۱/۷۹، ۱/۹۷، ۱/۱۸، ۱/۲۳، ۱/۹۶ و ۱/۷۹ برای سناریوهای مختلف محاسبه شده است. سناریوی چهارم با شاخص ۱/۱۸ مناسب‌ترین گزینه تخصیص است. این بدان معنا است که میزان اختلاف سطح نارضایتی‌ها بین صاحبان سود در این سناریو کمتر بوده و به‌عنوان سناریوی پایدار معرفی می‌شود. به دنبال این سناریو، سناریوی پنجم دارای پایداری بالاتری است.

در مقایسه روش‌های استفاده شده در این مقاله با سایر روش‌های معمول در این زمینه می‌توان به عملکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^(۱) (AHP) در انتخاب سناریو برتر اشاره کرد. در روش تحلیل سلسله مراتبی، معیارها و زیرمعیارهای مختلف برای ارزیابی سناریوها انتخاب می‌شود. این معیارها می‌تواند با در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی انتخاب شوند. در یک فرآیند مقایسه زوجی براساس قضاوت مهندسی و نظرات خبرگان، وزن هر معیار به دست می‌آید. همچنین عملکرد هر سناریو براساس معیارهای تعریف شده امتیازدهی می‌شود و در نهایت امتیاز کل هر سناریو براساس مجموع امتیاز وزنی معیارها به دست می‌آید. بر این اساس نتایج حاصل شده در روش تحلیل سلسله مراتبی در مقایسه با رویکرد گزینش اجتماعی دارای نارسایی‌هایی می‌باشد. در این روش مقیاسی یا استاندارد برای مقایسه عددهای به دست آمده وجود ندارد و عددهای به دست آمده بدون تعبیر فیزیکی هستند. این عددها نسبی هستند و فقط براساس نسبی بودن امکان رتبه‌بندی سناریوها وجود دارد. برخلاف روش گزینش اجتماعی عددهای به دست آمده

سیاست‌های تخصیص آب در یک حوضه آبریز را در نظر گرفت. در این رویکرد تصمیمی گرفته می‌شود که در آن مطلوبیت‌ها و ایده‌های صاحب نظران در نظر گرفته شده است. همچنین معیار پایداری در رفتار نشان می‌دهد سیاست‌های تخصیص آب در یک حوضه آبریز تا چه اندازه قابلیت پذیرش، اجرایی شدن و مؤثر بودن در جهت کاهش تنش‌های اجتماعی را دارند.

دارای مفهوم خاصی (همچون تعداد پیروزی و یا شکست) نیستند. همچنین نتایج رتبه بندی سناریوها بسیار وابسته به قضاوت‌های مهندسی و نظرات خبرگان دارد و هرگونه عدم قطعیت در نظرات سبب عدم دقت در نتایج خواهد شد. استفاده از رویکرد گزینش اجتماعی سبب می‌شود که بتوان نظر صاحبان سود و مصرف‌کنندگان آب و اثرات

جدول ۳- اولویت بندی سناریوها از دیدگاه ذینفعان

اولویت بندی	لرستان	چهارمحال و بختیاری	کهگیلویه و بویراحمد	اصفهان	مرکزی	خوزستان	نماینده بحران
۱	دو	چهار	دو	چهار	دو	چهار	چهار*
۲	چهار	دو	یک	پنج	چهار	پنج	پنج*
۳	پنج	پنج	صفر	دو	سه*	یک	شش-دو
۴	سه*	سه*	سه*	صفر	شش-یک*	صفر	سه*
۵	شش-یک*	شش-دو*	شش-یک*	یک	شش-دو*	دو	شش-یک*
۶	شش-دو*	شش-یک	شش-دو*	سه*	پنج	شش-دو	دو
۷	یک	یک	چهار*	شش-یک*	یک	سه	یک*
۸	صفر	صفر	پنج	شش-دو*	صفر	شش-یک	صفر*

* نشان دهنده اولویت یکسان برای صاحبان سود مورد نظر است.

جدول ۴- نتایج روش انتخابی کاندورست

سناریو	صفر	یک	دو	سه	چهار	پنج	شش-یک	شش-دو	پیروزی
صفر	-	۱-۵	۱-۶	۳-۴	۰-۶	۱-۶	۳-۴	۳-۴	۰
یک	۵-۱	-	۱-۶	۳-۴	۱-۶	۱-۶	۳-۴	۳-۴	۰
دو	۶-۱	۶-۱	-	۶-۱	۳-۴	۳-۴	۶-۱	۶-۱	۵
سه	۴-۳	۴-۳	۱-۶	-	۰-۶	۲-۵	۲-۰	۰-۲	۳
چهار	۶-۰	۶-۱	۴-۳	۶-۰	-	۶-۰	۶-۰	۶-۰	۷
پنج	۶-۱	۶-۱	۲-۴	۴-۳	۰-۶	-	۵-۲	۵-۲	۵
شش-یک	۴-۳	۴-۳	۱-۶	۰-۲	۰-۶	۲-۵	-	۰-۳	۲
شش-دو	۴-۳	۴-۳	۱-۶	۲-۰	۰-۶	۲-۵	۳-۰	-	۴

جدول ۵- نتایج روش نمره‌دهی بردا

سناریوها	لرستان	چهارمحال و بختیاری	کهگیلویه و بویراحمد	اصفهان	مرکزی	خوزستان	نماینده بحران	نمره
صفر	۰	۰	۵	۴	۰	۴	۱	۱۴
یک	۱	۱	۶	۳	۱	۵	۱	۱۸
دو	۷	۶	۷	۵	۷	۳	۲	۳۷
سه	۴	۴	۴	۲	۵	۱	۴	۲۴
چهار	۶	۷	۴	۷	۶	۷	۷	۴۴
پنج	۵	۵	۰	۶	۲	۶	۷	۳۱
شش-یک	۴	۲	۴	۲	۵	۰	۴	۲۱
شش-دو	۴	۴	۴	۲	۵	۲	۵	۲۶

جدول ۶- تعداد آراء سناریوها در ۸ مرحله انتخابات

سناریوها	مراحل انتخابات							
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
صفر	۰	۰	۱	۳	۳	۳	۴	۷
یک	۰	۱	۲	۲	۳	۳	۷	۷
دو	۲	۴	۵	۵	۶	۷	۷	۷
سه	۰	۰	۱	۵	۵	۶	۷	۷
چهار	۴	۶	۶	۷	۷	۷	۷	۷
پنج	۱	۳	۵	۵	۵	۶	۶	۷
شش-یک	۰	۰	۱	۴	۴	۶	۶	۷
شش-دو	۰	۰	۲	۵	۵	۷	۷	۷

نتیجه‌گیری

میزان تأمین آب مورد نیاز ۶ استان شامل لرستان، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، مرکزی و خوزستان در سه بخش شرب، صنعت و کشاورزی از نتایج مدل برنامه‌ریزی حوضه آبریز مادسیم در سناریوهای مختلف حاصل شده است. در این پژوهش، روش‌های متفاوتی برای ارزیابی سناریوهای تخصیص به کار گرفته شده است. در ارزیابی سناریوها، معیارهایی از جمله میزان مقبولیت سناریو در مقایسه با سایر سناریوها توسط صاحبان سود و کسب بیشترین رتبه و حداکثر آراء در نظر گرفته شده است. براساس روش کاندورست رقابت (زوجی) بین سناریوها از دیدگاه همه صاحبان سود انجام می‌شود. سناریوی چهار به‌عنوان گزینه مناسب با امتیاز ۷ انتخاب شده است که بیشترین پیروزی را در مقایسه زوجی با سایر سناریوها از دیدگاه صاحبان سود داشته است. پس از سناریوی چهار، سناریوهای ۲ و ۵ با امتیاز ۵ در رده‌های بعدی قرار دارند. در روش نمره بردا ابتدا صاحبان سود براساس آب تخصیصی به آن‌ها، سناریوهای مختلف را رتبه‌دهی می‌کنند و سپس نمره بردا براساس رتبه‌بندی سناریوها تعیین می‌شود. در این بررسی سناریوی چهار بیشترین نمره بردا برابر با ۴۴ امتیاز را کسب کرده است. پس از آن، سناریوهای ۲ و ۵ با امتیاز ۵ در رده‌های بعدی قرار دارند. در روش قانون رأی‌گیری میانه، سناریوی برتر براساس حداقل چهار رأی که بیانگر حداکثر آراء است مشخص می‌شود. براساس این روش سناریوهای چهار، دو و پنج به‌ترتیب انتخاب شده‌اند. همچنین براساس روش چانه‌زنی سناریوی چهار، کلیه آراء را در مرحله چهارم انتخابات از آن خود می‌کند. برای انتخاب روش برتر در تخصیص منابع آب از بین روش‌های

گزینه‌های اجتماعی، معیار پایداری در رفتار با دیدگاهی متفاوت به ارزیابی سناریوها می‌پردازد که ملاک انتخاب بهترین سناریو، سنجش میزان ناعدالتی در تخصیص منابع است. براساس شاخص پایداری، سناریوی چهارم که کمترین ناعدالتی را دربر خواهد داشت به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب شده است که اتفاق نظر در انتخاب آن در کلیه روش‌ها وجود دارد.

منابع

۱. باقری هارونی م. ح. و مرید س. ۱۳۹۲. مقایسه مدل‌های WEAP و MIKE BASIN در تخصیص منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه تالوار). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. (۱): ۲۰-۱۵۱-۱۶۸.
۲. زارع‌زاده م. ۱۳۸۹. تخصیص منابع آب حوضه آبریز قزل‌اوزن تحت تاثیر تغییر اقلیم با به کارگیری رویکرد ورشکستگی در حل اختلافات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی سازه‌های آبی. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۷۲ ص.
۳. کریمی س. م. و موسوی س. ح. ۱۳۹۰. تخصیص اولویت- پایه منابع آب در سطح حوضه آبریز؛ مقایسه مدل‌های MODSIM و WEAP. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰، سمنان، ایران. ۸ ص.
۴. محمودپور نیچالانی ط. و باقری ع. ۱۳۹۰. تخصیص آب در مقیاس حوضه آبریز؛ مقایسه دو مدل MODSIM-DSS و MIKEBASIN با یکدیگر. پنجمین کنفرانس سراسری آب‌خیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، ۱۰ و ۱۱ اسفند ۱۳۹۰، کرمان، ایران.

- management model. Colorado Water Resources Research Institute. 63 p.
19. Sheikhmohammady M. and Madani K. 2008. Bargaining over the Caspian Sea—the largest Lake on the earth. Proceeding of the World Environmental and Water Resources Congress. May 12-16. Honolulu. Hawaii, USA.
 20. Wurbs, R. A. 2001. Assessing water availability under a water right priority system. *Water Resources Planning and Management*. 127(4):235-243.
 21. Young P. 1995. Optimal voting rules. *Journal of Economic Perspectives*. 9(1):51-64.
 22. Zarezadeh M. Madani K. and Morid S. 2012. Resolving Transboundary Water Conflicts: Lessons Learned from the Qezelozan-Sefidrood River Bankruptcy Problem. World Environmental and Water Resources Congress. May 20-24, Albuquerque, New Mexico, USA.
 ۵. مریدی ع. و کارآموز م. ۱۳۸۵. مدل حل اختلاف مدیریت کیفی و تخصیص آب از رودخانه کرخه، مجله آب و فاضلاب، ۶۰: ۶۴-۵۵.
 ۶. مهرپرور م. ۱۳۹۱. تخصیص منابع آب با استفاده از روش‌های حل اختلاف مطالعه موردی: حوضه رودخانه زاینده‌رود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۶۵ ص.
 ۷. مهندسین مشاور بهان سد. ۱۳۹۲. گزارش مطالعات به‌نگام‌سازی طرح جامع آب حوضه رودخانه کارون. وزارت نیرو. ۳۹۵ ص.
 8. Basset G. W. and Persky J. 1999. Robust Voting. *Public Choice*. 99(3): 299-310.
 9. Brams S. J. and Kilgour D. M. 2001. Fallback Bargaining. *Group Decision and Negotiation*. 10(4):287-319.
 10. Chen Y. Zhang D. Sun Y. Liu X. Wang N. and Savenije H. H. 2005. Water demand management: a case study of the Heihe River Basin in China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 30(6):408-419.
 11. Hagan I. 2007. Modeling the Impact of Small Reservoirs in the Upper East Region of Ghana. Master Thesis, Lund University. Sweden. 56 p.
 12. Labadie J. W. 2010. MODSIM 8.1: River Basin Management Decision Support System. User manual and documentation. Colorado State University. 38 p.
 13. Leemhuis C. Jung G. Kasei R. and Liebe. J. 2009. The Volta Basin Water Allocation System: assessing the impact of small-scale reservoir development on the water resources of the Volta basin. West Africa, *Advances in Geosciences*. 21(21):57-62.
 14. Loehman E. Orlando J. Tschirhart J. and Whinston A. 1979. Cost Allocation for a regional Wastewater Treatment System. *Water Resource Research*. 15(2):193-202.
 15. Madani K. and Dinar A. 2012. Cooperative institutions for sustainable common pool resource management: Application to groundwater. *Water Resources Research*. 48(9):W09553. 15p.
 16. Madani K. and Hipel K.W. 2011. Non-cooperative Stability Definitions for Strategic Analysis of Generic Water Resources Conflicts. *Water Resources Management*. 25(8):1949-1977.
 17. Sechi G. M. and Sulis A. 2010. Intercomparison of Generic Simulation Models for Water Resource Systems. International Congress on Environmental Modeling and Software, Modeling for Environment's Sake. Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada. 10 p.
 18. Shafer J. M. and Labadie J. W. 1978. Synthesis and calibration of a river basin water