Research Paper

Designing a Mathematical Model for Optimal Allocation of Water Resources in Selected Dams in Fars Province

Morteza Shafiee [1*], Saeedeh Akbarpoor [2], Fatemeh Soltani [3]
1. Associate Prof., Department of Industrial Management, Economics and Management Faculty, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
2. M.Sc. in Industrial Management, Economics and Management Faculty, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
3. M.Sc. in Industrial Management, Economics and Management Faculty, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 2021/02/14
Revised: 2021/04/15
Accepted: 2021/06/04

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2024.27325.2298

Keywords:
Optimal allocation of water resources, Productivity, Sustainable Development, Mathematical planning, Dam, Fars province

Abstract

Introduction: The sharp decrease in rainfall has reached the peak of drought conditions in Fars province, so that the discharge of all rivers in Fars province has decreased between 70 to 100 percent, and due to the limitation of renewable water resources, there is a need for optimal and sustainable use of existing water resources. All reservoirs of dams in Fars province are necessary.

Methods: The main purpose and methodology of this research is to design a mathematical planning model for the optimal allocation of water resources of selected dams in Fars province, in order to net advantage of the system on the planning horizon that issues such as time period, reliability level, course currents, number of dams and consider some scenarios. Accordingly, the objective function of the model seeks the maximum advantage obtained for dams based on the parameters set with three indices of scenario, dam and time period.

Findings: At first, this model was considered for 5 users (dams) with 4 different scenarios in 10 monthly time periods, in which case the value of the objective function reached 39863110. Then, in order to analyze the sensitivity of the results and show the change of the optimal answer depending on the dimensions of the problem, the model was implemented for 10 users (dams) with 8 different scenarios in 20 monthly time periods in which the value of the objective function reached 82944240. Therefore, with the increase of the dimensions of the problem, a significant increase in the amount of the objective function and the optimal allocation of water resources of the selected centuries occurs in Fars province. Therefore, due to water shortages and recent droughts in Fars province, it is necessary to pay attention to sustainable and equitable development in planning the allocation of water resources and taking into account various indicators simultaneously.

Citation: Abedi-Sarvestani A, Ezatti-Sarvari N, Abdollahzadeh GH. Water Conflict and Its Management Strategies Among Users of Shared Water Wells: The Case Study of Farmers in Bahar County of Hamadan Province. Water Resources Engineering Journal. 20254; 16(59): 1-10.

***Corresponding author:** Morteza Shafiee
Address: Dept. of Industrial Management, Economics and Management Faculty, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Tell: +989171130039
Email: shafiee@iaushiraz.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The sharp decrease in rainfall has reached the peak of drought conditions in Fars province, so that the discharge of all rivers in Fars province has decreased between 70 to 100% and due to the limitation of renewable water resources, optimal and sustainable use of existing water resources of dams in Fars province is essential. Therefore, the main purpose of this study is to design a mathematical planning model for optimal water allocation of selected dams in Fars province, in order to take advantage of the system in the planning horizon, which takes into account issues such as time period, reliability level, course currents, number of dams and some scenarios.

Materials and Methods

This study is a case study that uses multiple sources and evidence to investigate a phenomenon in its real context in a situation where the boundary between the phenomenon and its context is not clear. The method of data collection is field and in order to analyze the data, a mathematical programming model has been used which has been tested using Lingo software to predict the problem of water shortage in dams in Fars province.

Findings

First, to implement the model with 5 users (dam) with 4 different scenarios in 10 monthly time periods, in which case the value of the objective function reached 39863110. Then, in order to analyze the sensitivity and show the change of the optimal answer depending on the dimensions of the problem, the model was implemented for 10 users (dams) with 8 different scenarios in 20 monthly time periods, in which case the value of the objective function reached 82944240. Therefore, with the increase of the dimensions of the problem, a significant increase in the amount of the objective function and the optimal allocation of water resources of the selected dams occurs in Fars province.

Discussion

The model presented in this research is a scenario-based mathematical planning model that can help to optimize the allocation of water resources. Due to the randomness of the available water, water supply in the planning period has dynamic characteristics. Based on the analysis of urban, industrial and agricultural sectors, it is possible to calculate the water consumption value of each user in advance. And considering that the flow in future planning is uncertain, this precalculation; it leads to the optimization and sustainable development of the local economy.

Conclusion

Due to water shortages and droughts in Fars province, planning for sustainable development and optimal allocation of water resources and considering various indicators together and simultaneously is also necessary.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Morteza Shafiee, Saeedeh Akbarpoor, Fatemeh Soltani.

Methodology and data analysis: Morteza Shafiee, Saeedeh Akbarpoor, Fatemeh Soltani.

Supervision and final writing: Morteza Shafiee.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

طراحی یک مدل ریاضی برای تخصیص بهینه منابع آب سدهای منتخب استان فارس

مرتضی شفیعی*، سعیده اکبرپور، فاطمه سلطانی
۱. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
۳. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶
تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2024.27325.2298

واژه‌های کلیدی:
تخصیص بهینه منابع آبی، بهره‌وری، توسعه پایدار، برنامه‌ریزی ریاضی، سد، استان فارس

چکیده

مقدمه: کاهش شدید بارندگی‌ها، شرایط خشکسالی را در استان فارس به اوج خود رسانده‌است به گونه‌ای که دبی تمام رودخانه‌های استان فارس بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش یافته‌است و با توجه به محدودیت منابع آب تجدیدپذیر، لزوم بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود از جمله مخازن سدهای استان فارس ضروری است.

روش: هدف اصلی و متدولوژی این تحقیق طراحی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای تخصیص بهینه منابع آب سدهای منتخب در استان فارس، به منظور مزیت خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی می‌باشد که مسائلی نظیر دوره زمانی، سطح قابلیت اطمینان، جریانات موجود دوره، تعداد سدها و همچنین برخی سناریوها را لحاظ کند. بر این اساس تابع هدف مدل به دنبال حداکثر مزیت حاصل برای سدها براساس پارامترهای تعیین‌شده با سه اندیس سناریو، سد و دوره زمانی می‌باشد.

یافته‌ها: ابتدا این مدل را برای ۵ کاربر(سد) با ۴ سناریو مختلف در ۱۰ دوره زمانی ماهانه در نظر گرفته شد که در این حالت مقدار تابع هدف به ۳۹۸۶۳۱۱۰ رسید. سپس به منظور تحلیل حساسیت نتایج و نشان دادن تغییر جواب بهینه بسته به ابعاد مسئله، به اجرای مدل برای ۱۰کاربر(سد) با ۸ سناریو مختلف در ۲۰ دوره زمانی ماهانه پرداخته‌شد که در این حالت مقدار تابع هدف به ۸۲۹۴۴۲۴۰ رسید. بنابراین با افزایش ابعاد مسئله، افزایش چشمگیری در مقدار تابع هدف و تخصیص بهینه منابع آب سده‌های منتخب در استان فارس رخ می‌دهد.

نتیجه‌گیری: با توجه به کمبود آب و خشکسالی‌های اخیر استان فارس، توجه به توسعه پایدار و عادلانه در برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب و لحاظ کردن شاخص‌های گوناگونی در کنار هم و به صورت همزمان ضروری است.

* **نویسنده مسئول:** مرتضی شفیعی
نشانی: دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.
تلفن: ۰۹۱۷۱۱۳۰۰۳۹
پست الکترونیکی: shafiee@iaushiraz.ac.ir

مقدمه

مناطق خشک، از جمله مناطق نیمه خشک، اکنون ۴۱٪ از توده زمین را پوشش می‌دهد(۲۴) و از مشخصه‌های بارز این مناطق مساله کمبود آب می‌باشد(۶ ، ۱۴). افزایش تقاضای آب شرب و کشاورزی نیز موجب تشدید این مسئله شده‌است(۱۰). لذا استفاده نادرست و بدون برنامه از منابع آب یکی از مهمترین عوامل بازدارنده توسعه پایدار است(۴). چرا که مفهوم توسعه پایدار منابع آب، تامین نیازهای جمعیت فعلی، بدون اثر منفی بر توانایی تامین نیازهای نسل‌های آینده می‌باشد(۵). از سوی دیگر باتوجه به عدم بارش باران، خشکسالی‌های پی در پی و استفاده بی‌رویه از سفره‌های آب‌های زیرزمینی، منابع‌آبی استان فارس با افت چشمگیری مواجه شدند. پایین رفتن سطح سفره آب‌های زیرزمینی در این استان اثرات مختلفی دارد که به عنوان نمونه می توان به نشست زمین اشاره کرد که از اثرات پایین رفتن آب زیرزمینی است. کوچ زود هنگام عشایر به سمت مناطق ییلاقی (سردسیر)، از بین رفتن برخی از دیم‌کاری‌های کشاورزان، کم‌آبی مخازن ذخیره آب پشت سدها و خشکی زودهنگام مراتع و علف‌زارهای استان فارس نشان‌دهنده عمق فاجعه‌ای است که استان فارس را تهدید می‌کند(۱). به طوری که به گزارش خبرگزاری ایرنا بیش از نیمی از ذخیره سدهای استان فارس خالی است و سدهای استراتژیک فارس که تامین‌کننده بخش عمده‌ای از آب شرب شهرهای این استان است، نیمه خالی است و این استان را با مشکل خشکی و خشکسالی و کمبود آب مواجهه کرده‌است. لذا مدیریت منابع آب و بهره‌برداری و تخصیص بهینه از سیستم‌های آبی موجود از جمله سدها، روزبه‌روز اهمیت بیشتری می‌یابد(۲۱). به طوری که متخصصین، برنامه‌ریزان و محققان را وادار به تفکر و ارائه طرح‌های جامع‌تر و پیچیده‌تر جهت بهره‌برداری بهینه و توسعه پایدار از منابع آب موجود مخازن سدها به عنوان یکی از اجزاء اصلی ذخیره و تنظیم جریان آب‌های سطحی نموده‌است(۲۳). در این راستا جهت برنامه‌ریزی مناسب به منظور بهره‌برداری صحیح از منابع موجود، استفاده از ابزارها و مدل‌های شبیه‌سازی مدیریت و برنامه‌ریزی به هم پیوسته منابع آب برای ارزیابی آن‌ها ضروری است(۳). لذا هدف از انجام این پژوهش، طراحی یک مدل ریاضی برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آبی سدهای استان فارس به منظور مدیریت بحران آب و توسعه پایدار و دستیابی به مزیت خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی می‌باشد. پژوهش‌های بسیاری در کشورهای مختلف و همچنین ایران صورت گرفته که تخصیص بهینه منابع آب را نشان داده‌است از جمله؛ کولس و همکارانش(۶) به بررسی تجربی و روشی جهت تکامل تیمارهای افزایش رواناب منابع آب‌های سطحی مورد استفاده در برداشت آب باران، به منظور تامین آب سدهای کوچک مزارع منطقه گرم و خشک جنوب غربی استرالیا پرداختند تا به بهبود امنیت آب که یکی از مهمترین مولفه‌های کشاورزی است کمک کنند و به این نتیجه رسیدند که تیمارها یا درزگیرها مورد ارزیابی پژوهش، از نظر ظرفیت، هزینه، دوام یا قابلیت ریختن آب متفاوت بودند؛ تا پاسخی قوی به تغییرات تجربه شده در الگوهای بارندگی، شدت و فراوانی آن‌ها به دلیل تغییرات آب و هوایی ارائه دهند. همچنین این بررسی پتانسیل استفاده از تیمارهای مختلف برای افزایش کارایی برداشت آب در مناطق کشاورزی نیمه خشک یا دیم در جنوب غربی استرالیا را برجسته کرده‌است. دنیایی و همکارانش(۸) عملکرد مسأله بهره‌برداری بهینه از مخزن سد بوستان را با دو هدف کمینه‌سازی کمبودهای نیاز آبی اراضی پایین‌دست و کمینه‌سازی انحراف از حجم ایده‌آل کنترل سیل طی دوره بهره‌برداری براساس روش حل تعارض کالای واشمورودینسکی ارزیابی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که بهینه‌سازی چندهدفه نهنگ از عملکرد بهتری برخوردار بوده‌است. همچنین دنیایی و همکارانش(۹) در پژوهشی دیگر در همان سال ضمن مقایسه الگوریتم های بهینه‌سازی گرگ خاکستری، جستجوی کلاغ و نهنگ، عملکرد آن‌ها را در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد گلستان با هدف تأمین نیاز آبی اراضی پایین‌دست، بر اساس شاخص‌های اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که الگوریتم گرگ خاکستری در بهینه‌سازی تابع هدف بهتر از سایر الگوریتم‌ها عمل می‌نماید. رجبی و همکارانش(۲۰) نیز به تخصیص بهینه آب بین شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود با رویکرد اقتصادی و بررسی عملکرد توزیع آب داخل شبکه رودشت شمالی با روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدلسازی سامانه بهره‌برداری موجود در شبکه آبیاری رودشت، عملکرد متوسط و ضعیفی را به خصوص در بخش میانی و پایین‌دست جهت تخصیص بهینه آب با رویکرد اقتصادی نشان میدهد. لی و همکارانش(۱۸) نیز یک روش برنامه‌نویسی تصادفی فازی چند مرحله‌ای برای مدیریت منابع آب با در نظر گرفتن تقاضای آب ارائه نمودند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات و پیچیدگی تخصیص منابع آب می‌تواند از طریق درخت مضمون گسسته چند لایه منعکس شود و سبب اصلاح فوری کاهش ریسک کمبود آب و جریمه اقتصادی پائین شود. همچنین روش مذکور به شناسائی میزان رضایت از هدف و میزان توجیه‌پذیری محدودیت‌ها به شکلی تعاملی کمک کرده و تصمیم‌سازان را قادر به تولید یکسری از گزینه‌ها تحت شرایط مختلف سیستم نمایند. پرهیزکاری و همکارانش(۱۹) به تخصیص بهینه منابع آب و اراضی در منطقه رودبارالموت با استفاده از مدل برنامه‌ریزی کسری آرمانی فازی (FGFP) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با بکارگیری الگوی بهینه کشت و تخصیص بهینه منابع آب موجود در منطقه، علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی در سطح مزارع، هزینه تولید در هر هکتار از اراضی کاهش، نیروی کار بکارگرفته شده افزایش و شاخص کارایی (نسبت سود به آب مصرفی) در حدود ۱۳ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده، جهت توسعه بخش کشاورزی استان قزوین برنامه‌ریزی و مدل‌سازی از پایین به بالا پیشنهاد کردند. دهقان و همکارانش(۷) نیز به برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب تحت سناریوهای مدیریتی در حوضه گرگان رود و سد وشمگیر پرداختند و با ارائه‌ی سناریوهایی جهت پیش‌بینی شرایط آب و هوایی، خشکسالی و وضعیت بارندگی، حجم نرمال مخازن سد را تخمین زدند و در ادامه به مدل‌سازی و تعیین شیوه‌های تخصیص آب مخزن تحت هر سناریو پرداختند. شهرکی و محسنی(۲۲) در مطالعه‌ای به کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی در تخصیص بهینه منابع آب در شهرستان یزد پرداختند. بدین منظور از روش دومرحله‌ای استفاده شد و ماتریس بازده

برای تعیین وزن دو هدف حداکثر کردن سوداقتصادی و زیست‌محیطی محاسبه گردید و به این نتیجه رسیدند که با تغییرات در وزن‌های به دست آمده مدل برنامه‌ریزی، امکان بهبود همزمان دو هدف مذکور وجود دارد و اولویت با حداکثرکردن سود اقتصادی و سپس سود زیست‌محیطی است. بنابراین لازم است که در سیاست‌های مربوط به تخصیص بهینه منابع آب به بهبود در مقدار این اهداف بیشتر توجه شود. حبیبی‌داویجانی و همکارانش(۱۱) نیز به ارائه مدلی برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات با استفاده از الگوریتم تلفیقی ژنتیک- هوش‌جمعی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از الگوهای کم‌آبیاری تغییر الگوی کشت، حذف سطح زیر کشت بعضی از محصولات و استفاده از منابع آبی بیشتر درحوضه صنعت می‌تواند در بالا بردن درآمدهای حاصله تا ۱۱۴ میلیارد ریال تاثیرگذار باشد. درمجموع با تخصیص بهینه منابع آب بین بخش‌های مختلف نیز به این نتیجه رسیدند که می‌توان درآمدهای حاصله در منطقه کویر مرکزی ایران را تا ۵۶ درصد نسبت به وضعیت فعلی بهبود بخشید. هان و همکارانش(۱۲) نیز در مطالعه‌ای به توسعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با پارامترهای بازه‌ای برای تخصیص منابع آب با کیفیت‌های متفاوت به مصرف‌کنندگان شهری، کشاورزی و صنعتی شهر دالیان چین با هدف هدف حداکثر کردن منافع اقتصادی، اجتماعی و محیطزیست پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نسبت آب مورد استفاده مجدد به کل مقدار آب به تدریج در حال افزایش است، همچنین نسبت مصرف آب کشاورزی به کل مصرف آب در حال کاهش است. لی و همکارانش(۱۸) نیز به ارائه مدلی برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت پرداختند که علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی می‌پردازد که نتایج مطالعه آن ها طی ۳۷ سناریو برای سه مصرف کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد.

نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که پژوهشگران در سال‌های اخیر، دغدغه‌هایشان در خصوص تخصیص منابع آب بیشتر شده اما با این وجود هنوز میزان تحقیق‌ها جامع نمی‌باشد. با توجه به نیاز سازمان آب منطقه‌ای فارس مبنی بر تخصیص بهینه منابع آب سدهای این منطقه به دلیل کمبود آب و خشکسالی‌های اخیر، این تحقیق یکی از موضوعات اساسی و مهم برای تخصیص بهینه منابع آب است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه پژوهش

استان فارس تقریباً در جنوب ایران قرار گرفته و با وسعتی برابر با ۱۴۴۰۰۰ کیلومتر مربع ۷/۴ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده‌است. میانگین بارندگی در استان فارس بالغ بر ۳۲۰ میلیمتر در سال می‌باشد. آب مورد نیاز استان از منابع آب‌های زیرزمینی و ۱۸٪ آن از منابع آب‌های سطحی تأمین می‌گردد. منابع کارستی، منبع اصلی آب‌های زیرزمینی استان را تشکیل می‌دهد. میزان برداشت سالیانه از آب‌های سطحی ۲/۲ میلیارد متر مکعب و میزان برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی (کارست و آبرفت) نیز سالیانه ۱۱/۷میلیارد متر مکعب است. آب نفوذی به سفره‌ها ناشی از آب برگشتی کشاورزی و سایر موارد هم سالیانه ۲/۸ میلیارد متر مکعب است. در استان فارس ۹۳ دشت اصلی وجود دارد که برای مشخص شدن افت سفره‌های آب‌های زیرزمینی این دشت‌ها پایش می‌شوند(۱). همچنین در بالا دست دریاچه‌های خشک فارس، سدهای خالی قرار دارند، سدهایی که موجودی و ذخیره آب برخی از آنها صفر است و حتی زیر صفر است، وقتی ذخیره آب در سدی به زیر صفر می‌رسد به معنی آن است که حتی از ذخیره پایداری سد هم مصرف یا تبخیر شده‌است و بنای اصلی سد در معرض ترک‌خوردگی و تخریب قرار دارد. به گزارش خبرگزاری ایرنا نگاه کلی به دیدگاه‌ها و اظهار نظرهای کارشناسی مطرح شده در این زمینه بیانگر آن است که ذخیره قابل استفاده در هفت سد در حال بهره‌برداری در استان فارس تنها ۱۸۳ میلیون متر مکعب می‌باشد؛ این در حالی است که پنج سد استراتژیک و مهم استان فارس ذخیره منفی دارد و در واقع بیش از ظرفیت سد آب از آن برداشت شده‌است و دیگر آبی برای بهره‌برداری و برداشت ندارد. براساس آمارهای موجود سدهای درودزن، ایزدخواست، سیوند، تنگاب و رودبال با ذخیره منفی و اضافه برداشت روبرو بوده و آبی برای بهره‌برداری ندارند. همچنین ویژگی‌های آب و هوایی نواحی این استان نشان می‌دهد که ناحیه گرم و خشک جنوبی دارای شرایط اقلیمی خیلی گرم، کم بارش و بارش تابستانه، ناحیه گرم و نیمه مرطوب غربی از آب و هوای گرم و مرطوب و نسبت به ناحیه گرم و خشک جنوبی از بارش بیشتری برخوردار است. ناحیه معتدل و مرطوب مرکزی دارای شرایط اقلیمی پربارش باران در پاییز و زمستان و از رطوبت بالایی برخوردار است و ناحیه سرد و خشک شمالی از ویژگی اقلیمی سرد، خشک و بادی برخوردار می‌باشد که میزان بارش این ناحیه تقریبا مشابه ناحیه گرم و خشک جنوبی است (۱۳). همچنین میزان میزان تبخیر و تعرق در استان فارس به این صورت است که با افزایش عرض جغرافیایی و ارتفاع از میزان تبخیر و تعرق در این استان کاسته می‌شود(۲). با توجه به موارد ذکر شده، بحران آب و خشکسالی از مهمترین چالش‌های فعلی فارس محسوب می‌شوند؛ بنابراین اگر آبی استحصال می‌شود، باید شبکه‌های زیر دست آن در قالب شبکه‌های آبیاری، زهکشی و خطوط انتقال نیز در دستور کار و طراحی قرار گیرد و تخصیص‌های لازم اعمال شود.

روش‌شناسی تحقیق

با توجه به اینکه وقتی تقاضای آب هدف به بالاترین حد خود می‌رسد، مدیر به صورت خوشبینانه آب را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. در این حالت متغیر کمبود آب نسبت به حالت بهینه افزایش می‌یابد. بنابراین تخصیص آب بسیار حائز اهمیت است لذا در این پژوهش به منظور برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه منابع آب بین سدهای منتخب در استان فارس از مدل‌سازی ریاضی استفاده شده‌است. که هدف آن حداکثر ساختن مزیت سیستم از طریق شناسائی طرح‌های تخصیص آب در یک افق برنامه‌ریزی شده خواهد بود. در این خصوص ابتدا به معرفی شاخص‌های مورد نیاز و پارامترها و متغیرهای تحقیق پرداخته شده‌است و سپس نمادهای هر یک از متغیرها نشان داده شده‌است. برای حل مسئله از نرم‌افزار لینگو استفاده شده‌است چرا که مسئله به عنوان مسئله«ان‌پی-سخت » ادر نظر گرفته نشده و جواب قطعی دارد

و همچنین در دو نوع تحلیل داده‌ای ارائه شده‌است. تحلیل داده‌ای دوم به منظور تحلیل حساسیت و برای نشان دادن تغییر جواب بهینه بسته به ابعاد مسئله حل خواهد شد، به این صورت که در تحلیل داده‌ای دوم تلاش شده‌است ابعاد مسئله گسترده‌تر نمایش داده‌شود. و درنهایت با نظر کارشناسان محترم، شاخص‌های مؤثر بر تخصیص منابع آب در بین سدهای منتخب استان فارس، شناسایی شدند که شرح آن در جدول ۱ آورده شده‌است:

جدول۱- شاخص‌های کلی برای تخصیص بهینه آب سدها

ردیف	شاخص	ردیف	شاخص
۱	مزیت خالص برای سد	۹	جریانات موجود در دوره
۲	کاهش مزیت خالص برای سد	۱۰	میزان آب در نظر گرفته شده برای سد
۳	میزان عدم تخصیص	۱۱	حداقل تخصیص مورد نظر برای سد
۴	سد	۱۲	حداکثر تخصیص مورد نظر برای سد
۵	سناریو	۱۳	حداقل میزان قابل تخصیص به سد
۶	احتمال رخداد سناریوی k	۱۴	مقدار تابع هدف
۷	دوره زمانی		
۸	سطح قابلیت اطمینان		

پارامترها و متغیرهای مدل پژوهش

برای حل این مسئله به پارامترهایی نیاز است و مقادیر این پارامترها در ابتدا قبل از حل مسئله باید بدست بیاید. که پارامترها و متغیرهای پژوهش در جدول ۲ ارائه شده‌اند:

جدول ۲- پارامترها و متغیرهای مدل پژوهش

عنوان پارامتر	نمادریاضی	تشریح پارامتر
مزیت خالص برای سد	Bit	مزیت خالص برای سد i به ازای هر واحد آب تخصیص یافته در طی دوره t
کاهش مزیت خالص برای سد	Cit	کاهش مزیت خالص برای سد i به ازای هر واحد آب تحویل نشده در دوره t
میزان عدم تخصیص	Ditk	میزانی که به وسیله آن آب هدف‌گیری شده در دوره t تحت سناریوی k تخصیص نیافته‌است
سد	I	تعداد سدها
سناریو	K	تعداد سناریوها در دوره t
احتمال رخداد سناریوی k	Ptk	احتمال رخداد سناریوی k در دوره t
دوره زمانی	T	...
سطح قابلیت اطمینان	Y	....
جریانات موجود در دوره	Qtk	جریانات موجود در دوره t تحت سناریوی k به صورت تصادفی
میزان آب در نظر گرفته شده برای سد	Wit	میزان آب هدف گیری شده که به سد i در دوره t داده می‌شود.
حداقل تخصیص مورد نظر برای سد	Wit min	حداقل تخصیص هدف برای سد i در دوره t
حداکثر تخصیص مورد نظر برای سد	Wit max	حداکثر تخصیص هدف برای سد i در دوره t
حداقل میزان قابل تخصیص به سد	MiWit	حداقل میزانی که باید به سد i در دوره t تخصیص یابد
مقدار تابع هدف	F	مزیت خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی

همانطور که مشاهده می‌شود متغیرهای فوق به چند مورد تقسیم می‌شود:

۱- مقدار تابع هدف
۲- اندیس‌ها
۳- پارامترهای تابع هدف

مقدار تابع هدف مقدار F می‌باشد که مقدار مزیت نهایی سیستم را در خود نگه داشته و به عنوان جواب بهینه در نظر گرفته می‌شود.

اندیس‌ها نیز شامل سه اندیس اصلی و مهم می‌باشند:

۱- I سد
۲- K سناریو
۳- T دوره زمانی

سایر متغیرها نیز پارامترهای تابع هدف می‌باشند که در دستیابی به جواب بهینه تاثیرگذار خواهند بود. در ادامه نحوه طراحی مدل تشریح خواهد شد.

طراحی مدل

مدل ارائه شده در این تحقیق به دنبال تخصیص منابع آبی به سدهای استان فارس می‌باشد، که با توجه به متغیرها و پارامترهای شرح داده شده در جدول۲ به صورت مدل (۱) می‌باشد:

$$\text{Max } F = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} B_{it}W_{it} - \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{Kt} p_{tk}C_{it}D_{itk}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{I}(W_{it} - D_{itk}) \leq Q_{tk} \;\forall\, t;\; k = 1,2 \ldots..Kt \qquad (۱)$$

$$W_{it} - D_{itk} \geq M_i W_{it} \;\forall\, l.t;\; k = 1,2 \ldots..Kt$$

$$W_{it}\max \geq W_{it} \geq W_{it}Min \geq 0 \;\forall\, l.t;\; k = 1,2..kt$$

$$D_{itk} \geq 0$$

درواقع مدل پژوهش، یک مدل ریاضی عدد صحیح ترکیبی تک هدفه برای تخصیص بهینه منابع آبی به سدهای منتخب استان فارس و دستیابی به مزیت خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی می‌باشد. که از ضرب مجموع مزیت خالص برای سد به ازای هر واحد آب تخصیص یافته در میزان آب هدف‌گیری شده برای سد در طی دوره با کسر کاهش مزیت خالص برای سد به ازای هر واحد آب تحویل نشده در طی دوره ضربدر میزان عدم تحقق هدف تخصیص آب در دوره تحت سناریوی مورد نظر بدست می‌آید. محدودیت‌های تحقیق بر این اساس تدوین شد که تفاوت بین میزان تخصیص آب محقق نشده در دوره و آب ارائه شده به سد در طی دوره نمی‌بایست از جریانات موجود در دوره بیشتر باشد که چنین امری تداعی‌گر موضوع عرضه و تقاضا در سایر سیستم‌های بهینه‌سازی می‌باشد. ضمن اینکه این مابه التفاوت در مدل به گونه‌ای طراحی شده که نمی‌بایست از حداقل میزان آبی که باید به سد تخصیص یابد بیشتر باشد که این محدودیت نیز اشاره به بحث عرضه و تقاضا دارد. در نهایت مدل ارائه شده مزیت خالص سیستم را در افق برنامه‌ریزی بر اساس پارامترهای تعیین شده یعنی تعداد سدها و سناریوها در دوره‌های مختلف تعیین شده بدست می‌آورد و نتایج در دو مسئله ارائه می‌گردد.

نتایج و بحث

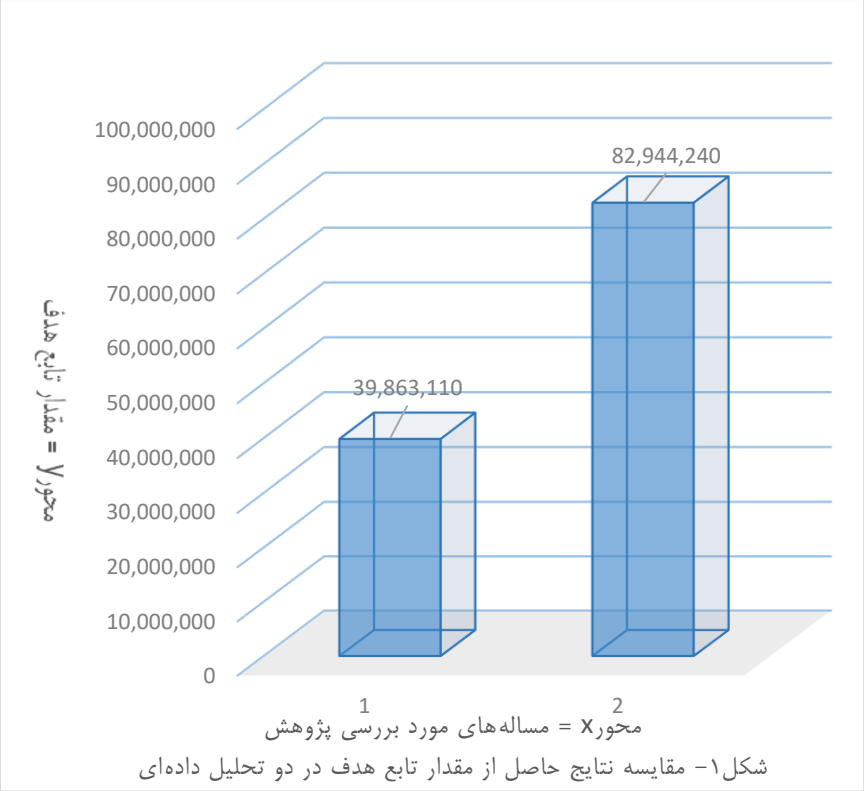
مدل ارائه شده در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مبتنی بر سناریو است که می‌تواند به بهینه‌سازی تخصیص منابع آبی کمک شایانی کند. با توجه به تصادفی بودن آب موجود، تامین آب در دوره برنامه‌ریزی دارای ویژگی‌های پویایی است. براساس تجزیه و تحلیل از بخش‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، می‌توان ارزش آب مصرفی هر کاربر را از پیش محاسبه کرد. و با توجه به اینکه جریان در برنامه‌ریزی آینده نامشخص است، این پیش‌محاسبه؛ موجب بهینگی و توسعه پایدار اقتصاد محلی می‌شود. لذا هدف از مدیریت منابع آب، تامین آب است. که در این مدل ارائه‌شده، طرح‌ها به طور همزمان در سطح احتمال گسسته در هر مرحله، موجب به حداکثر رساندن سود سیستم از طریق شناسایی و برنامه‌ریزی راجع به مقدار تخصیص آب بهینه می‌شود .

به منظور اجرای مدل، ابتدا ۱۰ دوره در نظر گرفته شده‌است. این ۱۰ دوره شامل ۱۰ دوره ماهیانه می‌باشد. سپس ۵ سد به عنوان کاربر آب مورد بررسی قرار گرفت که سناریوهای مختلف در آن لحاظ گردید. این سناریوها شامل شرایط آب و هوایی، اقلیمی خشکسالی و موارد این چنینی است که این تحلیل داده‌ای اول شامل ۴ حالت می‌باشد و مقدار تابع هدف که هدفش افزایش تخصیص بهینه و مزیت خالص در افق برنامه‌ریزی است مشخص شد و سپس به منظور تحلیل حساسیت مدل، ابعاد مورد استفاده در تحلیل‌داده‌ای اول دوبرابر شد و به اجرای مدل با ابعاد جدید پرداخته شد. در این شرایط انتظار می‌رود که مقدار تابع هدف افزایش یابد. بنابراین به منظور تحلیل حساسیت مدل، در تحلیل داده‌ای دوم ۲۰ دوره ماهیانه در نظر گرفته و سپس ۱۰ سد به عنوان کاربر آب با ۸ حالت نیز در نظر گرفته و بررسی شد. همچنین احتمال رخداد هر سناریو، میزان عدم تخصیص،کاهش منابع موجود و سایر شاخصه‌ها به عنوان پارامترهای مسئله در هر دو تحلیل داده‌ای نیز در نظر گرفته شد. که نتایج هر دو تحلیل در جدول شماره۳ آورده شده است:

جدول ۳- مقایسه و تفسیر حاصل از تحلیل‌های داده‌ای

مسئله اول	دوره زمانی(ماهیانه)	تعداد سد(کاربر آب)	سناریو	زمان صرف شده برای یافتن پاسخ	تعداد کل متغیرها	مقدار تابع هدف
	۱۰	۵	۴ حالت	۰/۱۵	۲۰۰	۳۹۸۶۳۱۱۰
مسئله دوم	دوره زمانی(ماهیانه)	تعداد سد(کاربرآب)	سناریو	زمان صرف شده برای یافتن پاسخ	کل تعداد متغیرها	مقدار تابع هدف
	۲۰	۱۰	۸ حالت	۲/۴۹	۱۶۰۰	۸۲۹۴۴۲۴۰

نتایج اجرای مدل در جدول ۳ مشخص شده‌است؛ که ابتدا در تحلیل داده‌ای اول ۵ سد و سپس به منظور تحلیل حساسیت مدل، در تحلیل داده ای دوم ۱۰ سد مورد بررسی قرار گرفته‌است و نتایج هر مسئله با یکدیگر مقایسه شده‌است. با توجه به هدف پژوهش که تعیین حداکثر مزیت حاصل برای سدها است، مشخص شد که با دو برابر شدن ابعاد مسئله، مقدار تابع هدف دچار تغییر فاحشی می‌گردد و افزایش بیشتری نسبت به مسئله اول پیدا می‌کند که این افزایش بیش از دو برابر شدن ابعاد مسئله است. ضمن اینکه زمان پاسخ نیز به شدت افزایش یافته‌است. اما نکته مهم دیگر افزایش تعداد متغیرهاست که در مسئله اول ۲۰۰ متغیر وجود داشت و در مسئله دوم این میزان به ۱۶۰۰ متغیر رسید. شکل۱ این امر را نشان می‌دهد:



شکل۱- مقایسه نتایج حاصل از مقدار تابع هدف در دو تحلیل داده‌ای

لذا با توجه به خشکسالی چندین ساله و شرایط منابع آب استان، نظارت و تخصیص بهینه آب سدهای این استان به منظور توسعه پایدار بر این منابع از اهمیت بالایی برخوردار است و هماهنگی میان متولیان آب، دستگاه قضایی و نیروی انتظامی ضرورت دارد. به عنوان مثال با توجه به این که سد مخزنی سلمان فارسی علاوه بر جلوگیری از بروز خسارت‌های ناشی از سیل، آب آشامیدنی و کشاورزی چند شهرستان جنوبی را نیز تامین می‌کند، ضروریست آب سد سلمان فارسی به بخش‌های جویم، بناروبه، بیرم، صحرای باغ و روستاهای این مناطق نیز اختصاص یابد. همچنین بحران آب و خشکسالی از مهم‌ترین چالش‌های فعلی فارس محسوب می‌شوند، سدهای هایقر، نرگسی و کوار به ترتیب با با پیشرفت فیزیکی ۹۵ و ۵۰ و ۳۵ درصد را می‌توان از مهم‌ترین سدهای در دست احداث استان فارس برشمرد. از طرفی، سدهای سیوند و خسویه هم در حال حاضر آب قابل برداشتی ندارند و لازم است از ذخیره آب سد که برای پایداری آن است، استفاده شود.

بحث و نتیجه‌گیری

مشکلات اخیر آبی در طی ۲۰ سال اخیر کشور را با مشکلات بسیاری مواجه ساخته‌است که همین امر مسئولین را به سمت مدیریت بحران آب در کشور سوق داده‌است. یکی از مواردی که می‌تواند به عنوان مولفه‌های مدیریت منابع آبی در کشور برشمرده شود، تخصیص بهینه منابع آب به خصوص در سدهای کشور می‌باشد. همین امر موجب آن شد که مدلی برای این بهینه‌سازی تخصیص منابع آبی در استان فارس در نظر گرفته شود. همچنین در این تحقیق با در نظر گرفتن برخی شاخصه‌های آبی تلاش شد تا حدکثر مزیت خالص سیستمی در افق برنامه‌ریزی برای سدهای منتخب استان فارس را به عنوان مقدار تابع هدف، بدست آورده شود. با توجه به پارامترهای پژوهش، سه اندیس یعنی سناریو، سد و دوره زمانی بررسی شد. و همچنین بر اساس مدل تحقیق به حل مسئله در تحلیل داده‌ای اول ۵ سد مورد بررسی قرار گرفت و مدت زمان پاسخ و مقدار تابه هدف محاسبه شد و سپس به منظور تحلیل حساسیت مدل، در تحلیل داده‌ای دوم ۱۰ سد مورد بررسی قرار گرفت و به این نتیجه رسیده شد که با افزایش ابعاد مسئله افزایش چشمگیری در مقدار تابع هدف رخ می‌دهد و همین امر موجب حداکثر شدن مزیت خالص برای تخصیص بهینه آب سدها می‌شود.

پیشنهادها

با توجه به کمبود تحقیقات در این حوزه یعنی مدیریت و بهینه‌سازی منابع آبی در داخل کشور و به خصوص شرایط خشکسالی اخیر پیشنهاد می‌شود موضوعات بیشتری در این حوزه مورد بررسی قرار گیرد و این تحقیق می‌تواند مسیری را برای تحقیقات آتی هموار نماید. همچنین با توجه به یافته‌های این تحقیق پیشنهادات ذیل مطرح می‌باشد:

- انجام پژوهش‌های مشابه با استفاده از سایر مدل‌ها و روش‌ها و نرم‌افزارهای آماری و مقایسه نتایج حاصله با نتایج این پژوهش
- بهینه‌سازی منابع آب در سدهای سایر استان‌های کشور با روش ارائه شده در این پژوهش
- بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در بخش صنعت و کشاورزی و خدمات در کشور با روش ارائه شده در این پژوهش

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: مرتضی شفیعی، سعیده اکبرپور، فاطمه سلطانی
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: مرتضی شفیعی، سعیده اکبرپور، فاطمه سلطانی؛
نظارت و نگارش نهایی: مرتضی شفیعی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Ali Hasaniha, H., and Khandeh Royan, M. 2012. Drought and Water Resources Status in Fars Province. The first national conference on desert (science, technology and sustainable development), Tehran. [In Persian].
2. Asadi, M., and Karami, M. 2020. Estimation of Evapotranspiration in Fars Province Using Experimental Indicators. researches in Geographical Sciences, 20(56): 159-175. [In Persian].
3. Ashrafi, M., Zeinalzadeh, K., Besharat, S., and Yasi, M. 2019. The performance of WEAP model in hydrologic simulation of Aland watershed. Iranian Journal of Eco Hydrology, 6(2): 341-352. [In Persian].
4. Amini, A., Javan, M., Eghbalzadeh, A., and Ghasemi, M. 2017. An Assessment of Water Resources Management using The WEAP Model in The Gamasyab Watershed, The Province of Kermanshah. Iran, Water Resources Engineering, 10: 13-18. [In Persian].
5. Bithas, K. 2008. The sustainable residential water use: Sustainability, efficiency and social equity. The European experience. Ecological Economics, 68: 221-229.
6. Coles, NA., Stanton, D., and Baek, CH.W. 2021. A Review on Surface Enhanced Experimental Catchments to Improve Farm Water Security and Resilience in a Drying Climate in Southwestern Australia. Water Productivity Journal (WPJ), 1(3):13-2.
7. Dehghan, Z., Delbari, M., and Mohammadrezapour, O. 2014. Planning water resources allocation under various managerial scenarios in gorganroud basin. Water and Soil Science, 25(3): 117-132. [In Persian].
8. Donyaii, A.R., Sarraf, A.P., and Ahmadi, H. 2020a. Multi-Objective Optimal Utilization Policy of Boostan Dam Reservoir Using Whale and NSGA-II Algorithms Based on Game Theory and Shannon Entropy Method. Iranian water researches Journal, 14(39):99-111. [In Persian].
9. Donyaii, A.R., Sarraf, A.P., and Ahmadi, H. 2020b. Optimization of Reservoir Dam Operation Using Gray Wolf, Crow Search and Whale Algorithms Based on the Solution of the Nonlinear Programming Model. Journal of Water and Soil Science, 24(4): 159-175. [In Persian].
10. Ghaffari Moghadam, Z., Keikhah, A. and Sabouhi, M. 2012. Optimum water resources allocation using game theory. Iran-Water Resources Research, 8(2): 12-23. [In Persian].
11. Habibi Davijani, M., Banihabib, M.E., and Hashemi, S.R. 2013. Development of Optimization Model for Water Allocation in Agriculture. Industry and Service sectors By Using Advanced Algorithm, GAPSO, Journal of Water and Soil, 27(4): 680-691. [In Persian].
12. Han, Y., Huang, Y.F., Wang, G.Q., and Maqsood, I. 2011. A multi-objective linear programming Model with Interval parameters for Water Resources Allocation in Dalian city. Water Resources Management, 25: 449-463.
13. Hatami bahman biglo, kh., and khoshlal Dastjerdi, V. 2010. Climatic zones of Fars province by factor analysis, Geographical Space, 10(32): 135-150. [In Persian].
14. Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G., and Guo, R. 2016. Accelerated dry land

expansion under climate change. Nature Climate Change, 6(2): 166-171.
15. Irna.ir/service/province/Fars. [In Persian]
16. Janat Rostami, S., Kholghi, M., and Bozorg Haddad, O. 2010. Management of reservoir operation system using improved harmony search algorithm. Water and Soil Science, 20(3): 61-71. [In Persian].
17. Li, C., Cai, Y., and Qiand, J. 2018. A multi-stage fuzzy stochastic programming method for water resources management with the consideration of ecological water demand. Ecological Indicators, 95(1): 930–938.
18. Li, Y.P., Huang, G.H., and Nie, S.L. 2006. An interval- parameter multi- stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Advances in Water Resources, 29:776-789.
19. Parhizkari, A., Mozaffari, M.M., khaki, M., and Taghizade Ranjbari, H. 2015. Optimal allocation of water and lands resources in the Roudbar Alamout region using the FGFP model. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 4(4): 11-24. [In Persian].
20. Rajabi, D., Mousavi, S.F., and Roozbahani, A. 2018. Optimal Water Allocation among the Irrigation Districts in Zayandehrud Basin with Economic Approach and Performance Assessment of Water Distribution within the District (Case Study: North-Rudasht Irrigation District), Iran-Water Resources Research, 14(5): 269-282. [In Persian].
21. Rani, D., and Moreira, M. 2010. Simulation–optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. Water resources management. 24(6): 1107-1138.
22. 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, 3(4):107-117. [In Persian].
23. Sheikh Khozani, Z., Hosseiny, Kh., and Rahimian, M. 2010. System dynamic modeling of multipurpose reservoir operation to estimate the optimal height of the dam. Journal of Modeling in Engineering, 8(21):57-66. [In Persian].
24. Yao, J., Liu, H., Huang, J., Gao, Z., Wang, G., Li, D., Yu, H., and Chen, X. 2020. Accelerated dryland expansion regulates future variability in dryland gross primary production. Nature Communications, 11(1): 1665.