Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 13, Serial Number 50, Summer 2023, Pages 9-38 (Original Article)
DOI: 10.48308/JIMP.13.2.9

Optimization Models to Manage the Distribution of Water Resources in Qom City

Hadi Fazli[*], Behrouz Afshar-Nadjafi[**], Seyed Taghi Akhvan Niaki[***]

Abstract

In the city of Qom, there is no dual water supply network with a separate meter inside the citizens' homes. On the other hand, high quality water sources do not meet all the drinking and non-drinking needs of the consumption areas. Therefore, the water and sewage company should respond to the drinking and non-drinking needs of the citizens by optimally managing the distribution of various available water resources. In this paper, the problem has been investigated in the form of two optimization mathematical models.In the first model, the current water allocation to citizens has been modeled and optimally solved, in which water resources should be allocated to citizens at the lowest cost, provided that all the needs of citizens are covered. In the second model, it is suggested that by scheduling the allocation of water resources, citizens will have access to quality water for drinking at a certain pre-determined time, and other consumption needs of citizens will be met with low quality water during the rest hours of the day and night.In the proposed model, both the allocation of water resources for the drinking and non-drinking needs of the citizens under the condition of covering all the needs of the citizens and the allocation of water resources with the lowest cost for the needs of the citizens are included. Finally, the application of the proposed model is presented with numerical analysis.

Keywords: Mathematical Modeling; Optimal Distribution of Water Resources; Urban Water Management; Consumption Schedule; Optimization.

Received: Agu. 30, 2022; Accepted: Nov. 08, 2022.

* Ph.D Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
**Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran (Corresponding Author).
Email: afsharnb@alum.sharif.edu
*** Professor, Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال سیزدهم، شماره ۵۰، تابستان ۱۴۰۲، ص‌ص ۹ – ۳۸ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.48308/JIMP.13.2.9

توسعه و حل مدل‌های بهینه‌سازی برای مدیریت توزیع منابع آب شهر قم

هادی فضلی*، بهروز افشار نجفی، سیدتقی اخوان نیاکی*****

چکیده

در شهر قم شبکه دوگانه آب‌رسانی با کنتور جداگانه در داخل منازل شهروندان وجود ندارد. از طرفی منابع آب با کیفیت بالا جوابگوی تمام نیازهای شرب و غیرشرب مناطق مصرف نیست؛ بنابراین «شرکت آب و فاضلاب» باید با مدیریت بهینه توزیع منابع آبی متنوع موجود، پاسخگوی نیازهای شرب و غیرشرب شهروندان باشد.در این پژوهش، مسئله در قالب دو مدل ریاضی بهینه‌سازی بررسی شده است. در مدل اول تخصیص آب به شهروندان با رویکرد موجود مدل‌سازی و به‌صورت بهینه حل شده است که در آن منابع آبی باید با کمترین هزینه به شهروندان تخصیص یابد؛ به شرط آنکه تمام نیازهای شهروندان پوشش داده شود. در مدل دوم پیشنهاد شده است که با زمان‌بندی تخصیص منابع آبی، شهروندان به آب با کیفیت برای شرب در ساعت خاص از پیش معین‌شده دسترسی داشته باشند و در باقی ساعات شبانه‌روز، سایر نیازهای مصرفی شهروندان با آب کم‌کیفیت پاسخ داده شود. در مدل پیشنهادی، هم تخصیص منابع آبی برای مصارف شرب و غیرشرب شهروندان به شرط پوشش تمامی نیازهای شهروندان و هم تخصیص منابع آبی با کمترین هزینه جهبرایت نیازهای شهروندان لحاظ شده است. درنهایت کاربرد مدل پیشنهادی با تحلیل عددی ارائه شده است.

کلیدواژه ها: مدل‌سازی ریاضی؛ توزیع بهینه منابع آب؛ مدیریت منابع آب شهری؛ زمان‌بندی مصرف؛ بهینه‌سازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷.

* دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.

** دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران (نویسنده مسئول).

Email: behrouz.afshar@alum.sharif.edu

*** استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

بحران آب امروزه از چالش‌های مهم مناطق خشک و نیمه‌خشک در کشور ایران و مناطق خاصی از ایران همانند شهر قم است. به عقیده کارشناسان استفاده بی‌رویه از منابع آبی در کشور ایران بدون درنظرگرفتن محدودیت‌های آن، مشکلات جدی را به‌وجود آورده است. در شرایط کنونی اهمیت توزیع بهینه منابع آبی موجود، به‌دلیل توسعه‌های سریع شهرنشینی و افزایش روزافزون جمعیت انسانی، روزبه‌روز بیشتر می‌شود. از طرفی به‌دلیل محدودیت در میزان برداشت از منابع آبی تأمین کلیه نیازهای آبی برای مصارف شرب و غیرشرب تمامی ذینفعان شهری (در این پژوهش ذینفعان شهری با عنوان «مناطق مصرف‌کننده شهری» نامیده می‌شوند) نیازمند مدیریت بهینه است؛ بنابراین از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی مدیران و سیاست‌گذاران حیطه مسائل آبی، مسئله توزیع آب به ذینفعان با رعایت حقوق آن‌ها و توزیع منابع آبی بر اساس چشم‌اندازهای آینده بخش‌های مختلف است.

مفهوم توزیع منابع آبی بین ذینفعان در این پژوهش به فرآیندی اطلاق می‌شود که در آن منابع آبی با کیفیت بالا که استانداردهای لازم برای مصرف‌کننده را داشته باشد محدود بوده و این منابع حتی کمتر از مقدار موردنیاز ذینفعان باشد؛ به‌گونه‌ای که ذینفعان برای به‌دست‌آوردن منابع بیشتر باهم به رقابت بپردازند؛ بنابراین مسئله مدیریت توزیع و زمان‌بندی برای دسترسی به منابع آبی از مسائل مهم مدیریت منابع آبی است.

در این پژوهش، مسائل مدنظر مدیران برنامه‌ریز آب شهری با ۲ مدل ریاضی زمان‌بندی توزیع منابع آب شهری بین مناطق مصرف (ذینفعان) شهری بیان شده و درنهایت نشان داده شده است که با حل این مدل‌ها و ارائه نتایج آن‌ها به مدیران برنامه‌ریز می‌توان در راستای تصمیم‌گیری بهینه کمک‌های لازم را ارائه کرد.

بخش‌های مختلف مقاله به شرح زیر است: در بخش دوم، مبانی نظری به‌طور جامع بررسی می‌شود. در بخش سوم، روش‌شناسی توضیح داده خواهد شد. در بخش چهارم، تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش صورت می‌گیرد. بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

۲. مبانی نظری و بیشینه پژوهش

مدیریت و زمان‌بندی منابع آب شهری، فرآیندی برای تقسیم‌بندی منابع آبی محدود در میان ذینفعانی است که برای کسب حداکثری این منابع با هم رقابت می‌کنند. این فرآیند، به‌خصوص در مواردی که توزیع مکانی و زمانی و کیفی آب قابل‌دسترسی، متناسب با نیازهای ذی‌نفعان نباشد، امری ضروری و لازم‌الاجر است.

در سال ۲۰۱۴ نزدیک به ۵۴ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند و تا سال ۲۰۵۰ دوسوم جمعیت جهان در شهرهای مختلف زندگی خواهند کرد. که این امر سبب افزایش ۵۵ درصدی نیازمندی به آب در شهرها خواهد شد [۵]؛ ازاین‌رو با توجه به افزایش جمعیت شهرها، مدیریت آب موردنیاز مصرف‌کننده‌های شهری ضروری به نظر می‌رسد [11]؛ از طرفی دسترسی محدود به منابع آبی و افزایش میزان تقاضای آب در بسیاری از مناطق شهری بحث مدیریت منابع آب شهری را بیش‌ازپیش نمایان می‌کند [۶]. به همین دلیل باید موضوع مدیریت توزیع منابع آبی موردتوجه خاص مدیران مرتبط قرار بگیرد.

موضوع مدیریت توزیع منابع آبی بین ذی‌نفعان به‌عنوان یک موضوع با اهمیت در ایران از دیرباز مطرح بوده و هست. همان‌گونه که مشخص است، مهم‌ترین چالش پیش روی مدیران حیطه مسائل آبی، مسئله تخصیص آب به ذی‌نفعان، رعایت حقوق مصرف‌کنندگان و رعایت مسائل مربوط به تأمین آب از منابع تأمین‌کننده آب شهری است. در راستای تأمین آب شهری از منابع تأمین‌کننده آب شهری باید مسائل مختلف ازجمله هزینه تأمین از منابع مختلف، دردسترس‌بودن و سایر مسائل مدنظر کارشناسان لحاظ شود [۲]؛ به همین دلیل مدیریت مسائل مرتبط با آب شهری نیازمند داشتن اطلاعات کافی از شرایط اجتماعی و اقتصادی است؛ بنابراین داشتن دیدی جامع و یکپارچه برای مدیران مرتبط با موضوع آب شهری از مهم‌ترین اولویت‌ها است [۹].

مدیریت یکپارچه آب شهری یک موضوع بسیار مهم و ضروری برای هر شهر و کشوری است، اهداف و عوامل بسیاری همانند رضایت مصرف‌کنندگان آب شهری، مزایای ملّی و خطرهای اجتماعی باید در مدیریت یکپارچه آب شهری در نظر گرفته شوند؛ بنابراین مدیریت یکپارچه آب شهری می‌تواند به‌عنوان یک مسئله با چند هدف در نظر گرفته شود [۱۲].

با توجه به موارد گفته‌شده بسیاری از سناریوهایی که در بسیاری از شهرهای جهان برای توزیع و تخصیص بهینه منابع آبی به ذی‌نفعان شهری پیشنهاد داده می‌شود یا به مرحله عمل می‌رسد، ممکن است در شهرهای دیگری از نقاط جهان عملی نباشد؛ بنابراین در صورت عدم‌نگرش جامع و مدیریت یکپارچه تأمین آب ذی‌نفعان، تصمیمات اخذشده برای یک منطقه در راستای مدیریت منابع آب آن منطقه سایر مناطق را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد؛ بنابراین عدم‌مدیریت یکپارچه سبب ارائه راه‌حل‌های کوتاه‌مدت و کم‌اثر و نابهینه خواهد بود [۷]. با توجه به شرایط خاص هر منطقه اعم از شرایط آب‌وهوایی، ساختار حاکمیتی، اقتصادی و زیرساختی برنامه‌های مدیریت آب شهری می‌تواند تغییر کند؛ ازاین‌رو استفاده مدیران برنامه‌ریز شهری و مدیران شرکت‌های آب شهری از تجربه‌های پژوهشگران در دیگر نقاط کشور و جهان با شرایط مشابه شهر تحت مدیریتشان می‌تواند سودمند واقع شود [۱۵].

مواردی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مدیریت آب شهری در جدول ۱، ارائه شده است. در حال حاضر، هیچ سیستم طبقه‌بندی گسترده‌ی پذیرفته‌شده‌ای برای مدیریت آب شهری وجود ندارد؛ بنابراین دشوار است بدانیم چه نوع برنامه‌هایی مناسب است و بین این برنامه‌ها چه تفاوت‌هایی وجود دارد. همین موضوع مانعی برای همکاری بین آژانس‌ها، به‌اشتراک‌گذاری دانش و بهبود مستمر فرآیندهای برنامه مدیریت آب شهری است [۱۳، ۱۰]؛ بنابراین در این پژوهش سعی شده است با ارائه موضوع‌های متنوع و پژوهش‌های گسترده انجام‌گرفته و ارتباط این پژوهش‌ها با پژوهش جاری ضمن یاری‌رساندن به مدیران، مدیران برنامه‌ریز آب شهری را با مسائل مدیریتی انجام‌گرفته در اقصی نقاط جهان آشنا کرد.

جدول ۱. برخی پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مدیریت آب شهری

پژوهشگر/ سال موارد موردبررسی	والی وهمکاران (۲۰۲۲) همکاران(۲۰۲۲) آنتنی و	راسیفتیهی و همکاران (۲۰۲۰)	بیسواس و همکاران، (۲۰۲۲)	هو و همکاران، (۲۰۲۱)	وانگ و همکاران، (۲۰۱۷)	بابامیر و همکاران، (۲۰۲۰)	گورونگ و همکاران، (۲۰۱۵)	پژوهش جاری
بررسی کیفیت آب شهر	✓							
مدیریت میزان برداشت از منابع تأمین‌کننده آب شهر					✓			
مدیریت شبکه آب‌رسانی (تجهیزات انتقال آب)				✓				
استفاده از فناوری نوین در راستای کنترل مصرف آب							✓	
بررسی اثر تغییرات آب‌وهوا در زمینه تأمین آب شهر		✓						
مدیریت توزیع منابع آب شهری (لحاظ مسائل مالی)						✓		
مدیریت توزیع منابع آب شهری با رعایت کمترین هزینه توزیع و دسترسی به باکیفیت‌ترین آب برای شرب								✓

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

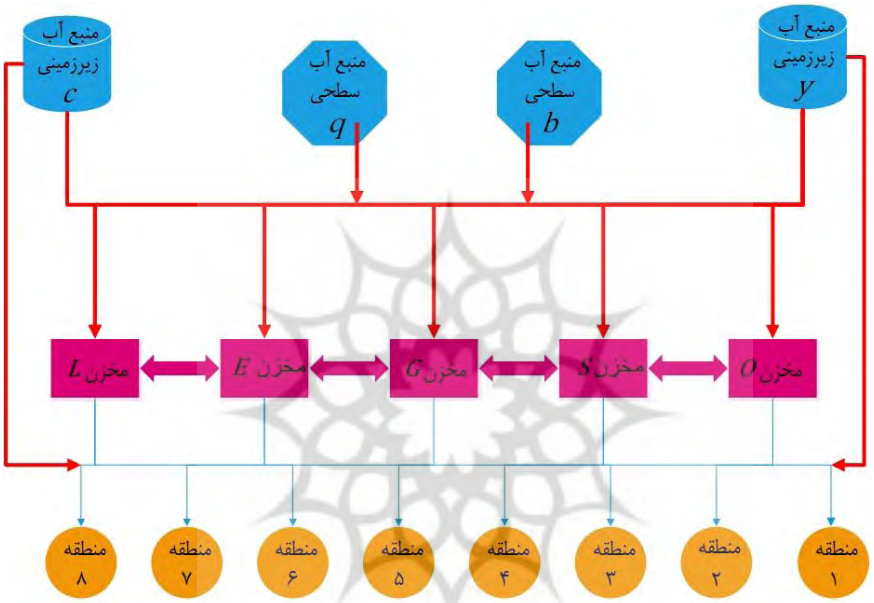
همان‌طور که در جدول ۱، به‌تفصیل تفکیک شده است، مشاهده می‌شود مبحث مدیریت آب شهری مبحثی گسترده است. در مسئله مدیریت آب شهر یک گروه وظیفه تأمین و توزیع آب شهری را بر عهده دارند (در این پژوهش شرکت آب و فاضلاب قم) و گروهی دیگر مصرف‌کنندگان شهری هستند (در این پژوهش مناطق هشت‌گانه مصرف قم). بر اساس بررسی مبانی نظری موضوع تاکنون پژوهشی در شرایط مشابه شهر قم انجام نشده است که هم وضعیت موجود را بررسی کند و هم رویکردی بهتر برای توزیع آب شرب ارائه دهد.

نوآوری این پژوهش در مقایسه با سایر پژوهش‌های انجام‌شده، تفاوت در ساختار تعریف مسئله است. درواقع شهر قم از نظر اینکه شهری زیارتی و همواره مملو از مسافر است و از طرف دیگر آب شرب شیرین کافی عرضه تمام‌وقت وجود ندارد، یک وضعیت متمایز نسبت به سایر شهرها دارد. در این پژوهش شرکت آب و فاضلاب فقط به دنبال تأمین تمامی نیازهای مناطق مصرف با کمترین هزینه است و از سوی دیگر با توجه به شرایط شهر و منابع آب موجود به دنبال برآوردن خواسته شهروندان برای تأمین آب با کیفیت برای توزیع به مصارف شرب است. این ویژگی ساختار مسئله را از سایر پژوهش‌ها متمایز می‌کند.

با توجه به اینکه شرایط خاص هر منطقه برای اجرای پیشنهادهای پژوهشگران در راستای مدیریت آب شهری متفاوت است، تصمیم به انجام این پژوهش در شهر قم گرفته شد. این پژوهش در شهر قم یا هر شهری با شرایط مشابه شهر قم قابل‌اجراست. در این پژوهش سعی شده است به مدیران برنامه‌ریز آب شهر در راستای تصمیم‌گیری در حوزه مدیریتشان کمک شود. در این راستا دو مدل ریاضی برای توزیع منابع آبی در میان مناطق مصرف طراحی می‌شود. در مدل اول، وضعیت موجود توزیع آب شهری بیان شده است. شرکت آب و فاضلاب آب را از منابع تأمین‌کننده برای مصارف شهری به مناطق مصرف منتقل می‌کند. این شرکت خواهان تأمین آب مناطق مصرف از نزدیک‌ترین منابع تأمین‌کننده است تا هزینه کمتری داشته باشد. از طرفی بنا به دلایل اجتماعی و سیاسی شرکت آب و فاضلاب قم باید تمامی موارد مصرفی مناطق شهری را پوشش دهد. تمامی موارد گفته‌شده در مدل اول بیان شده است؛ به‌عبارت‌دیگر مدل اول وضعیت موجود را به زبان ریاضی بیان می‌کند. شهر قم در منطقه‌ای خشک واقع شده است و سازمان آب و فاضلاب از منابع مختلف میزان مشخصی آب در اختیار شرکت آب و فاضلاب قرار می‌دهد. یکی از منابع تأمین‌کننده دارای کیفیت بسیار بالایی است؛ اما این منبع به‌تنهایی پاسخگوی تمامی نیازهای مناطق مصرف نیست. در مدل دوم پیشنهاد شده است که در ساعاتی از شبانه‌روز آب از این منبع در اختیار مصرف‌کنندگان قرار گیرد و در باقی ساعات از سایر منابع. این مباحث در مدل ریاضی دوم پیشنهاد شد. در انتها با حل هر یک از این مدل‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌توان کمک‌های لازم را برای تصمیم‌گیری به مدیران برنامه‌ریز شهری ارائه کرد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

زنجیره تأمین آب شهری در بیشتر شهرهای ایران از جمله شهر قم بدین‌صورت است که ماهانه حجم خاصی از منابع آب سطحی توسط سازمان آب منطقه‌ای به شرکت‌های آب و فاضلاب فروخته می‌شود. شرکت‌های آب و فاضلاب، آب تصفیه‌شده را از منابع سطحی به مخازن آب منتقل می‌کنند و سپس آب از مخزن به سمت مناطق مصرف پمپاژ می‌شود. در رابطه با آب زیرزمینی نیز آب بعد از استخراج از منابع زیرزمینی به سمت مخزن می‌رود و بعد به سمت مناطق مصرف پمپاژ می‌شود یا آب‌های زیرزمینی به‌طور مستقیم به شبکه توزیع تزریق می‌شود. نحوه اتصال منابع آب سطحی و زیرزمینی و مخازن به مناطق هشت‌گانه مصرف شهر قم در شکل ۱، ترسیم شده است.



شکل ۱. شکل شماتیک زنجیره تأمین آب شهر قم

مدل‌سازی ریاضی. در این بخش نمادگذاری به‌کاررفته در مدل‌های ریاضی معرفی و موردبحث قرار می‌گیرد.

اندیس‌های زیر در مدل اول و دوم استفاده شده‌اند:

i: اندیس منابع آب سطحی (شهر قم دو منبع آب سطحی به نام‌های q و b دارد)

ip: اندیس منابع آب زیرزمینی (شهر قم دو منبع آب زیرزمینی به نام‌های c و y دارد)

j: اندیس مخازن (در شهر قم ۵ مخزن به نام‌های *O*، *S*، *G*، *E* و *L* وجود دارد)
a: اندیس مناطق مصرف (شهر قم دارای ۸ منطقه به نام‌های *a1*، *a2*، ...، *a8* است)
d: اندیس دوره زمانی(دوره تخصیص آب ترکیبی به منطقه مصرف)
dd: اندیس دوره زمانی تخصیص آب شیرین به مناطق مصرف

در پژوهش جاری در مدل دوم یک روز به دو دوره تقسیم شده است: دوره *d* و دوره *dd*. دوره *d* به آب ترکیبی (یعنی در دوره *d* شرکت آب و فاضلاب آب ترکیبی را در اختیار مناطق شهری قرار می‌دهد) و دوره *dd* به آب شیرین اختصاص دارد (در دوره زمانی *dd* شرکت آب و فاضلاب آب مختص شرب در اختیار مناطق مصرف قرار می‌دهد). منظور از آب ترکیبی بدین شرح است که آب‌های سطحی و زیرزمینی بعد از انتقال به مخزن با هم مخلوط می‌شوند. این آب مخزن که ترکیبی از آب سطحی و زیرزمینی است در این پژوهش دراصطلاح «آب ترکیبی» نامیده می‌شود. در مدل دوم این پژوهش، یک منبع آب سطحی که بنا به گفته کارشناسان دارای آب بسیار باکیفیتی است، فقط به شرب شهروندان اختصاص می‌یابد که به این آب دراصطلاح «آب شیرین» گفته می‌شود. برای مثال، دوره *dd=2* یعنی آب شیرین از ساعت ۶ تا ۸ به مصارف شرب مناطق مصرف تخصیص می‌یابد و مناطق مصرف می‌توانند در این ۲ ساعت آب شیرین برای شرب در اختیار داشته باشند یا برای مصارف شرب روزانه ذخیره کنند؛ همچنین در دوره *d* از آب سایر منابع برای سایر مصارف بهره بگیرند. ازآنجاکه مدل عمومی است، این زمان می‌تواند بنا به درخواست مدیران برنامه‌ریز تغییر کند. برای مثال *dd=3,4*، یعنی آب شیرین در دو زمان مجزا به شهروندان تخصیص یابد (دو ساعت در صبح و دو ساعت در شب).
ii: اندیس منابع آب شیرین (در پژوهش جاری فقط یک منبع به آب شیرین اختصاص داده شده است؛ اما ازآنجاکه مدل عمومی است و ممکن است در شهری دیگر ۲ و یا تعداد منابع بیشتری به آب شیرین اختصاص یابد، برای اینکه مدل در این‌گونه شهرها قابل‌استفاده باشد، یک اندیس به این امر اختصاص یافته است).
jj: اندیس مخزن مخصوص (در پژوهش جاری فقط یک مخزن به آب شیرین اختصاص داده شده است که «مخزن مخصوص» نام دارد؛ اما ازآنجاکه مدل عمومی است و ممکن است در شهری دیگر ۲ و یا تعداد مخازن بیشتری به آب شیرین اختصاص یابد، برای اینکه مدل در این‌گونه شهرها قابل‌استفاده باشد، یک اندیس به این امر اختصاص یافته است).
r: روزهای برنامه‌ریزی (روزهای یک هفته).

مفروضات مدل. مفروضات مدل عبارت‌اند از:
ـ ظرفیت تصفیه‌خانه بیشتر از نیازهای شهر است؛ چون در ساخت این‌گونه تأسیسات افزایش جمعیت در چندین سال آینده مدنظر قرار می‌گیرد؛

ـ ظرفیت تأسیسات اعم از لوله‌های انتقال، تأسیسات پمپاژ و تصفیه‌خانه هم جوابگوی تمامی نیازها است؛

ـ نیازهای مناطق مصرف مشخص است؛

ـ برنامه خرید آب روزانه است و برای یک هفته برنامه‌ریزی تخصیص انجام می‌شود؛

ـ درصورتی‌که مصرف آب مناطق هشت‌گانه قم بیشتر از توان تأمین منابع آب سطحی و زیرزمینی باشد، قطعی ناخواسته رخ خواهد داد. ازآنجاکه توان تأمین منابع تأمین‌کننده قم بیش از حداکثر نیاز تمام مناطق مصرف قم است، قطعی در اثر کمبود آب وجود ندارد؛

ـ در رابطه با میزان آب موردنیاز مناطق که در مدل اول با VB_{ar} (میزان آب موردنیاز منطقه a در روز r) لحاظ شده است و در مدل دوم با VB_{adr} (میزان آب موردنیاز منطقه a در دوره d در روز r) ثبت شده است، حداکثر آب روزانه موردنیاز آن منطقه برایش لحاظ شد؛ همچنین در رابطه با پارامتر VBI_{addr} (میزان آب شیرین موردنیاز منطقه a در دوره dd در روز r) مقرر شد بیشترین آب شیرین موردنیاز مناطق مصرف بر اساس برآورد کارشناس شرکت آب و فاضلاب به‌عنوان میزان آب شیرین موردنیاز مناطق در پارامتر ثبت شود؛ البته این مدل کلی است و شرکت‌های آب و فاضلاب در سراسر ایران می‌توانند آب مصرفی مناطق مصرف را تا جایی که منابع تأمین‌کننده آب در اختیار آن‌ها قرار می‌دهد، تأمین کنند؛

ـ در مدل دوم فرض شد که مناطق مصرف آب شیرین موردنیاز (VBI_{addr}) را در صورت تخصیص به‌طور کامل مصرف خواهند کرد؛

ـ با توجه به اینکه تمامی منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی در قم قابل‌شرب هستند، در صورت ترکیب این آب‌ها با آب شیرین مشکلی برای شرب ندارند و در صورت ترکیب فقط کیفیت آب شیرین پایین خواهد آمد. به همین دلیل میزان نیاز مناطق مصرف به آب شیرین ۱/۵ برابر بیشتر از میزان واقعی موردنیاز هر منطقه مصرف در نظر گرفته شده است؛

ـ در این پژوهش ذی‌نفعان آب شهری مناطق هشت‌گانه شهر قم هستند و هر منطقه به‌عنوان یک ذی‌نفع در نظر گرفته شده است. در این پژوهش آب مختص شرب «آب شیرین» نامیده شده و مخزن مختص آب شیرین، «مخزن مخصوص» نامگذاری شد؛

ـ در یک هفته برنامه‌ریزی این پژوهش فرض شده است سایر موارد همچون تبخیر آب از منبع، خرابی سیستم آب‌رسانی و سایر موارد وجود ندارد؛ البته در سایر هفته‌ها مثلاً در صورت تبخیر ۱۰ درصدی از منابع و هدررفت ۵ درصدی آب به‌علت کهنگی سیستم توزیع آب شهری می‌توان برای جبران این هدررفت در پارامتر مربوطه مدل ریاضی نیاز مناطق مصرف را ۱۵ درصد بیشتر در نظر گرفت؛

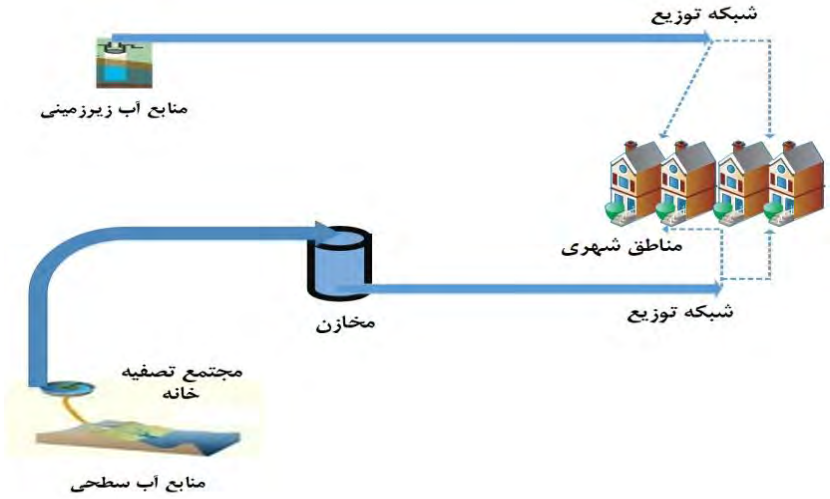
ـ مقادیر پارامترها و متغیرهای هزینه‌ای در این پژوهش به ریال و همچنین مقادیر پارامترها و متغیرهای حجم به مترمکعب است. تمامی اطلاعات مربوط به پارامترهای این پژوهش از کارشناسان شرکت آب و فاضلاب قم اخذ شده است.

مدل ریاضی اول. در بیشتر شهرهای ایران ازجمله شهر قم، زنجیره دسترسی مناطق مصرف‌کننده آب شهر به منابع تأمین‌کننده همانند شکل ۲ است؛ به‌عبارت‌دیگر تمامی منابع آب سطحی بعد از تصفیه به مخازن منتقل شده و از مخازن به مناطق مصرف منتقل می‌شوند. در رابطه با منابع آب زیرزمینی نیز این منابع بعد از تصفیه هم به مخازن متصل هستند و هم به‌طور مستقیم به مناطق مصرف؛ بنابراین در مدل اول بررسی شد که منابع آب سطحی بعد از تصفیه به مخازن منتقل شده و سپس از مخازن به مناطق مصرف منتقل شوند. در رابطه با آب‌های زیرزمینی نیز در مدل فرض شده است که آب‌های زیرزمینی به‌طور مستقیم به سمت مناطق مصرف منتقل می‌شود.

شکل ۲، به‌وضوح این امر را نشان می‌دهد؛ به‌بیان‌دیگر در مدل اول، زنجیره تأمین و توزیع آب بدین صورت به زبان ریاضی مدل‌سازی شده است: آب‌های سطحی q و b از طریق خطوط لوله‌های انتقال به سمت مجتمع تصفیه‌خانه‌ای منتقل می‌شود و پس از تصفیه به سمت مخازن O، S، L، E، G منتقل می‌شود. هزینه انتقال یک مترمکعب آب از هر منبع سطحی تا مجتمع تصفیه‌خانه‌ای و هزینه تصفیه‌خانه برای تصفیه یک مترمکعب از هر آب سطحی و هزینه انتقال یک مترمکعب آب از تصفیه‌خانه تا هر یک از مخازن برای شرکت‌های آب و فاضلاب مشخص و معین است. همه این موارد در مدل اول به‌صورت یک مرحله هزینه با عنوان «هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع سطحی i تا مخزن j» بیان شده است. این مطلب با معادله ۱، بهتر نشان داده می شود.

(۱) هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع سطحی i تا مخزن j = هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع سطحی i تا مجتمع تصفیه‌خانه‌های قم + هزینه تصفیه یک مترمکعب آب سطحی i + هزینه انتقال یک مترمکعب آب از مجتمع تصفیه‌خانه‌ای تا مخزن j

پرتال جامع علوم انسانی



شکل۲. نمایش مدل اول به‌صورت تصویری

به‌عبارت‌دیگر هزینه‌های تصفیه‌خانه و هزینه انتقال آب از منبع به تصفیه‌خانه و هزینه انتقال آب از تصفیه‌خانه به مخازن به‌صورت هزینه انتقال از منبع تا مخزن بیان شده است؛ به همین دلیل است که عمل تصفیه در مدل‌ها و مرحله تصفیه در شکل کلی ۲ به‌صورت مرحله جداگانه‌ای آورده نشده است. منابع بعدی زنجیره تأمین آب مصرفی شهر، آب‌های زیرزمینی است. تعداد این منابع در شهر قم دو مجموعه منبع زیرزمینی است. به‌دلیل رعایت مسائل زیست‌محیطی میزان برداشت از هر یک از این منابع زیرزمینی نیز مقدار مشخصی دارد. شرکت آب و فاضلاب به‌ازای هر مترمکعب آب از هر منبع (زیرزمینی و سطحی)، به‌دلیل کیفیت‌های مختلف هر منبع، رقم متفاوتی را به‌ازای هر مترمکعب می‌پردازد. این آب‌های زیرزمینی از منابعشان وارد لوله‌های توزیع به مناطق مصرف می‌شوند و وارد مخزن نمی‌شوند. شکل ۲، به‌وضوح گویای این موارد است؛ همچنین آب‌های زیرزمینی به تصفیه‌خانه جداگانه بابت تصفیه منتقل نمی‌شوند و بعد از استخراج از منابع زیرزمینی تصفیه آن‌ها انجام می‌شود. با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی به تصفیه‌خانه جداگانه‌ای منتقل نمی‌شوند، در این پژوهش هزینه تصفیه این آب‌ها با هزینه خرید آن‌ها جمع بسته می‌شود. این مفهوم با معادله مفهومی (۲) به‌راحتی بیان می‌شود.

(۲) هزینه خرید یک مترمکعب آب زیرزمینی = هزینه خرید یک مترمکعب آب زیرزمینی تصفیه‌شده.

در ادامه موارد بالا به زبان ریاضی مدل‌سازی شده است.

اندیس‌های مدل اول

i: اندیس منابع آب سطحی

ip: اندیس منابع آب زیرزمینی

j: اندیس مخازن

a: اندیس مناطق مصرف

d: اندیس دوره زمانی (دوره تخصیص آب ترکیبی به منطقه مصرف)

r: روزهای برنامه‌ریزی (روزهای یک هفته).

پارامترهای مدل اول:

P_i: هزینه خرید یک مترمکعب آب از منبع سطحی i

U_{ip}: هزینه خرید یک مترمکعب آب از منبع زیرزمینی ip

C_{irj}: هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع سطحی i در روز r تا مخزن j

CU_{ipra}: هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع زیرزمینی ip در روز r تا منطقه مصرف a

CB_{jra}: هزینه انتقال یک مترمکعب آب از مخزن j در روز r تا منطقه مصرف a

VB_{ar}: میزان آب موردنیاز منطقه a در روز r

S_{ir}: ظرفیت فروش منبع سطحی i در روز r

SU_{ipr}: ظرفیت فروش منبع زیرزمینی ip در روز r

F_j: ظرفیت مخزن j

متغیرهای تصمیم مدل اول:

M_{irj}: میزان آب منتقل‌شده از منبع سطحی i در روز r تا مخزن j

MU_{ipra}: میزان آب منتقل‌شده از منبع زیرزمینی ip در روز r تا منطقه مصرف a

ME_{jra}: میزان آب منتقل‌شده از مخزن j در روز r تا منطقه مصرف a

تابع هدف مدل اول:

$$Min\ T(c) = \sum_i P_i \sum_i \sum_r \sum_j M_{irj} + \sum_i \sum_r \sum_j C_{irj} \sum_i \sum_r \sum_j M_{irj} + \sum_{ip} U_{ip} \sum_{ip} \sum_r \sum_a MU_{ipra} + \sum_{ip} \sum_r \sum_a MU_{ipra} \sum_{ip} \sum_r \sum_a CU_{ipra} + \sum_j \sum_r \sum_a CB_{jra} \sum_j \sum_r \sum_a ME_{jra} \quad (۳)$$

تابع هدف مدل اول در رابطه ۳، به دنبال این است که آب‌های سطحی به نزدیک‌ترین مخزن منتقل شوند و آب هر منطقه نیز از نزدیک‌ترین مخزن تأمین شود. آب‌های زیرزمینی نیز همین‌طور از نزدیک‌ترین منبع به منطقه مصرف برسد. درواقع شرکت آب و فاضلاب با این کار به دنبال حداقل‌کردن هزینه‌های خود است.

محدودیت‌های مدل اول

$$\sum_j \boldsymbol{M_{irj}} \leq \boldsymbol{S_{ir}} \qquad \forall \boldsymbol{i}\ ,\ \forall \boldsymbol{r} \qquad (۴)$$

$$\sum_a MU_{ipra} \leq SU_{ipr} \qquad \forall ip\ ,\ \forall r \qquad (۵)$$

$$\sum_i M_{irj} \leq F_j \qquad \forall j\ ,\ \forall r \qquad (۶)$$

$$\sum_j ME_{jra} + \sum_{ip} MU_{ipra} \geq VB_{ar} \qquad \forall a\ ,\ \forall r \qquad (۷)$$

$$\sum_i M_{irj} = \sum_a ME_{jra} \qquad \forall j\ ,\ \forall r \qquad (۸)$$

$$\sum_a ME_{jra} \leq F_j \qquad \forall j\ ,\ \forall r \qquad (۹)$$

محدودیت کران متغیرهای تصمیم: ($T\ (C)$: مقدار تابع هدف)

$$T\ (C) \geq 0 \qquad (۱۰)$$

$$M_{irj} \geq 0 \qquad (۱۱)$$

$$MU_{ipra} \geq 0 \qquad (۱۲)$$

$$ME_{jra} \geq 0 \qquad (۱۳)$$

با توجه به محدودیت منابع که پیش‌تر نیز اشاره شد، در رابطه ۴، این محدودیت بیان شده است؛ به‌عبارت‌دیگر رابطه ۴، نشان می‌دهد که حداکثر به‌اندازه ظرفیت هر منبع آب سطحی شرکت آب و فاضلاب می‌تواند آب را از آن منبع به مخازن انتقال دهد. رابطه ۵، نیز همین مطلب را در رابطه با منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد؛ به‌عبارت‌دیگر با توجه به مسائل زیست‌محیطی، استخراج از منابع زیرزمینی به هر میزان مجاز نیست و حداکثر به میزان اعلام‌شده شرکت مجاز به انتقال آب‌های زیرزمینی به مناطق مصرف است.

در رابطه ۶، به ظرفیت مخازن اشاره شده است. با توجه به اینکه حجم مخازن ظرفیت مشخصی دارد، اما انتقال آب از منابع آب سطحی به مخازن باید حداکثر به‌اندازه حجم مخازن باشد.

بنا بر گفته مدیران شرکت آب و فاضلاب یکی از اهداف این شرکت در ایران این است که باید نیازهای مصرف‌کنندگان شهری به آب تماماً پاسخ داده شود. این امر در شهر قم به‌دلیل موقعیت خاص این شهر، اعم از موقعیت فرهنگی ـ مذهبی شاخص این شهر در سطح کشور و جهان و نیز قرارگرفتن در منطقه‌ای با موقعیت کم‌آب، نمود بیشتری دارد؛ بنابراین در این محدودیت این مسئله نشان داده شده است؛ به‌عبارت‌دیگر رابطه ۷، تضمین می‌کند که تمامی نیازهای مناطق هشتگانه قم در هرروز باید از منابع آب سطحی و منابع آب زیرزمینی پاسخ داده شوند.

رابطه ۸،نشان می‌دهد که میزان آب واردشده از هر مخزن به مناطق هشت‌گانه قم به‌اندازه میزان آب واردشده از منابع آب سطحی به آن مخزن است.

درنهایت رابطه ۹، نمایانگر این است که حداکثر به‌اندازه ظرفیت هر مخزن امکان انتقال آب سطحی از آن مخزن به مناطق هشت‌گانه قم در آن روز است.

مدل ریاضی دوم. در مدل اول، وضعیت موجود توزیع منابع آبی بین مناطق مصرف مدل‌سازی شد. در این مورد با کمک مدل‌سازی ریاضی سعی شد توزیع منابع آبی با حداقل هزینه بین مناطق مصرف با شرط الزام به تأمین کامل نیازهای مناطق مصرف شهری بهینه شود. مدل دوم به دنبال ارائه مدل پیشنهادی به مدیران برنامه‌ریز آب شهری است. در بسیاری از پژوهش‌های صورت‌گرفته در سراسر جهان، پژوهشگران بسیاری به این نتیجه رسیده‌اند که باید مصارف آب شرب را از مصارف غیرشرب جدا کرد. حتی در بسیاری از شهرهای پیشرفته جهان نیز این امر اجرا می‌شود. جداسازی آب شرب از غیرشرب مصرفی شهروندان به این دلیل است که فقط مقدار کمی از نیازهای ذی‌نفعان شهری شرب است و الباقی نیازهای شهروندان به مصارف غیرشرب ازجمله شستشو، نظافت و مسائل بهداشتی و غیره تعلق می‌گیرد. حتی در برخی موارد مراکز خدماتی و صنعتی در شهرها و حاشیه شهرها وجود دارند که اختصاص آب شرب به مصارف غیرشرب این مراکز علاوه بر ایجاد هزینه‌های گزاف به شرکت آب و فاضلاب باعث ازبین‌رفتن و اسراف منابع آب شیرین باکیفیت می‌شود؛ اما در بسیاری از شهرهای ایران اختصاص دو کنتور جداگانه یکی برای مصارف شرب و دیگری برای مصارف غیرشرب به‌دلیل بار مالی بسیار گزاف آن برای دولت در حال حاضر امکان‌پذیر نیست. عرضه آب شیرین به‌صورت کیوسکی همانند شکل ۳، در برخی از نقاط شهرها یکی از راه‌حل‌هایی است که در برخی از شهرهای ایران برای دسترسی شهروندان به آب شیرین با کیفیت ایجاد شده است؛ اما با بزرگ‌شدن آن شهر و سایر مسائل رفاهی و اجتماعی تهیه آب به‌صورت کیوسکی همانند شکل ۳، ممکن است برای شهروندان به سهولت امکان‌پذیر نباشد؛ بنابراین در این پژوهش مدل دوم پیشنهاد می‌شود. در مدل دوم پیشنهاد شده است که یکی از مخازنی که از بقیه مخازن دیگر به مناطق مصرف

دسترسی بهتری دارد و از لحاظ فنی نیز حائز شرایط است، فقط به آب شیرین باکیفیت اختصاص یابد. یک منبع آب شیرین باکیفیت قابل‌شرب نیز برای شرب شهروندان تخصیص داده شده است. باقی منابع اعم از سطحی و زیرزمینی به سایر مصارف غیر از شرب تخصیص یافته است.

شکل ۳. توزیع آب به‌صورت کیوسکی در شهر قم

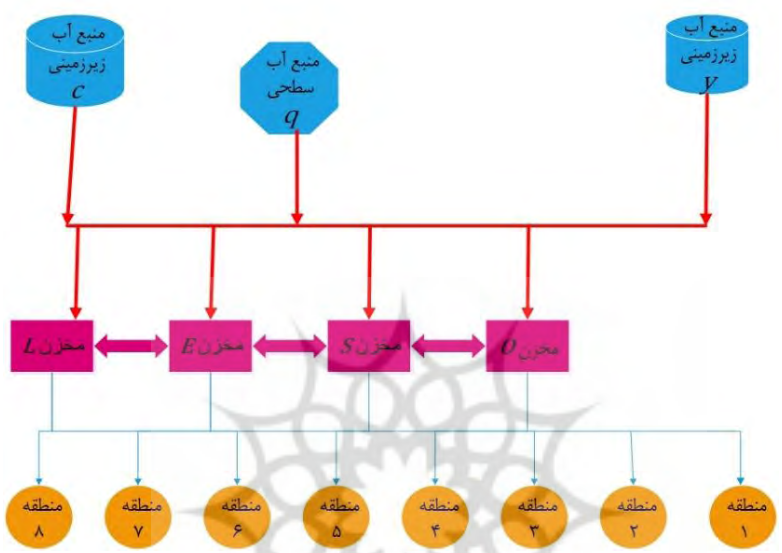
در مدل دوم آب شیرین با کیفیت بالا بعد از تصفیه فقط به شرب تخصیص داده می‌شود و سایر آب‌های سطحی و زیرزمینی بعد از تصفیه به سایر مصارف در ساعات دیگر اختصاص می‌یابد. تمام منابع آبی اعم از سطحی و زیرزمینی که شرکت آب و فاضلاب قم از سازمان آب منطقه‌ای خریداری می‌کند بعد از تصفیه قابل‌شرب است و فقط کیفیت این آب‌ها با هم متفاوت است.

در مدل دوم زنجیره تأمین و توزیع آب بدین‌صورت به زبان ریاضی مدل‌سازی شده است: آب سطحی q و آب‌های زیرزمینی c و y پس از تصفیه به سمت مخازن با نام‌های L، E، O و S منتقل می‌شود. این آب‌ها در مخازن نامبرده ترکیب شده و آب ترکیبی از این مخازن در دوره d به سمت مناطق مصرف جاری می‌شوند (شکل ۴). ازآنجاکه یک شبانه‌روز به دو دوره d و dd تقسیم‌بندی شده است، در دوره dd انتقال آب ترکیبی به مناطق مصرف قطع شده و آب شیرین وارد مدار می‌شود؛ یعنی آب شیرین از منبع مخصوص به مخزن مخصوص منتقل شده و سپس از مخزن مخصوص به سمت مناطق مصرف منتقل می‌شود. این امر در شکل ۵، به‌وضوح نشان داده شده است. در مدل دوم، هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع سطحی i تا مخزن j بشرح رابطه ۱۴، محاسبه شده است.

هزینه انتقال یک مترمکعب آب شیرین از منبع سطحی ii تا مخزن jj = هزینه انتقال یک مترمکعب آب شیرین از منبع سطحی ii تا مجتمع تصفیه‌خانه‌های قم + هزینه تصفیه یک مترمکعب آب سطحی ii + هزینه انتقال یک مترمکعب آب شیرین از مجتمع تصفیه‌خانه‌ای تا مخزن jj

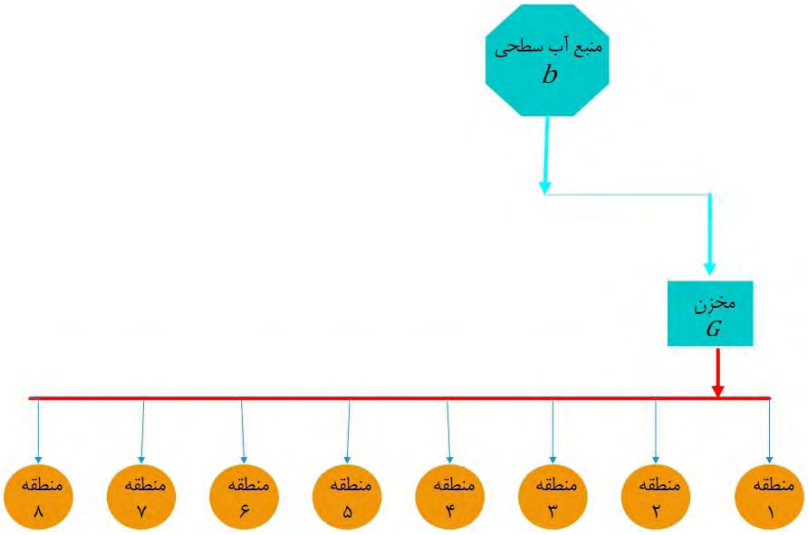
(۱۴)

به‌عبارت‌دیگر هزینه‌های تصفیه‌خانه و هزینه انتقال آب از منبع به تصفیه‌خانه و هزینه انتقال آب از تصفیه‌خانه به مخزن به‌صورت هزینه انتقال از منبع تا مخزن بیان شده است. در رابطه با هزینه خرید یک مترمکعب آب زیرزمینی در این مدل معادله ۲، صدق می‌کند.



شکل ۴. زنجیره تأمین و توزیع مدل دوم (انتقال آب سطحی q و زیرزمینی c و y به مخازن O، L، S، E و سپس انتقال آب ترکیبی از این مخازن به مناطق مصرف در دوره d)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۵. انتقال آب شیرین b به مخزن G (مخزن مخصوص) و سپس انتقال از مخزن مخصوص به مناطق مصرف در دوره dd

در ادامه مدل دوم به‌صورت ریاضی مدل‌سازی شده است.

اندیسهای مدل دوم

علاوه بر اندیس‌های تعریف شده در مدل اول، اندیس‌های زیر را نیز تعریف می‌کنیم:

dd: اندیس دوره زمانی تخصیص آب شیرین به مناطق مصرف.

ii:اندیس منابع آب شیرین

jj: اندیس مخزن مخصوص

پارامترهای مدل دوم:

P_i: هزینه خرید یک مترمکعب آب از منبع سطحی i

U_{ip}: هزینه خرید یک مترمکعب آب از منبع زیرزمینی ip

S_{ii}: هزینه خرید یک مترمکعب آب شیرین از منبع مخصوص ii

C_{idrj}: هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع سطحی i در دوره d در روز r تا مخزن j

CU_{ipdrj} :هزینه انتقال یک مترمکعب آب از منبع زیرزمینی ip در دوره d در روز r تا مخزن j

CB_{jdra}: هزینه انتقال یک مترمکعب آب ترکیبی از مخزن j در دوره d در روز r تا منطقه مصرف a

CS_{jjddra}: هزینه انتقال یک مترمکعب آب شیرین از مخزن مخصوص jj در دوره dd در روز r تا منطقه مصرف a

$CI_{iiddrjj}$: هزینه انتقال یک مترمکعب آب شیرین از منبع مخصوص ii در دوره dd در روز r تا مخزن jj

متغیرهای مدل دوم

M_{idrj}: میزان آب منتقل‌شده از منبع سطحی i در دوره d در روز r تا مخزن j

MU_{ipdrj}: میزان آب منتقل‌شده از منبع زیرزمینی ip در دوره d در روز r تا مخزن j

$MS_{iiddrjj}$: میزان آب شیرین منتقل‌شده از منبع مخصوص ii در دوره dd در روز r تا مخزن مخصوص jj

ME_{jdra}: میزان آب ترکیبی منتقل‌شده از مخزن j در دوره d در روز r تا منطقه مصرف a

MES_{jjddra}: میزان آب شیرین منتقل‌شده از مخزن مخصوص jjدر دوره dd در روز r تا منطقه مصرف a

MB_{jdr}: میزان آب ترکیبی موجود در مخزن j در دوره d در روز r

MBS_{jjddr}: میزان آب شیرین موجود در مخزن مخصوص jj در دوره dd در روز r

تابع هدف مدل دوم

$$
\begin{aligned}
Min\ T(c') &= \sum_i P_i \sum_i \sum_d \sum_r \sum_j M_{idrj} \\
&+ \sum_i \sum_d \sum_r \sum_j C_{idrj} \sum_i \sum_d \sum_r \sum_j M_{idrj} \\
&+ \sum_{ip} U_{ip} \sum_{ip} \sum_d \sum_r \sum_j MU_{ipdrj} \\
&+ \sum_{ip} \sum_d \sum_r \sum_j MU_{ipdrj} \sum_{ip} \sum_d \sum_r \sum_j CU_{ipdrj} \\
&+ \sum_j \sum_d \sum_r \sum_a CB_{jdra} \sum_j \sum_a \sum_d \sum_r ME_{jdra} \\
&+ \sum_{ii} S_{ii} \sum_{ii} \sum_{dd} \sum_r \sum_{jj} MS_{iiddrjj} \\
&+ \sum_{ii} \sum_{dd} \sum_r \sum_{jj} CI_{iiddrjj} \sum_{ii} \sum_{dd} \sum_r \sum_{jj} MS_{iiddrjj} \\
&+ \sum_{jj} \sum_{dd} \sum_r \sum_a CS_{jjddra} \sum_{jj} \sum_{dd} \sum_r \sum_a MES_{jjddra}
\end{aligned}
\qquad (۱۵)
$$

تابع هدف مدل در رابطه ۱۵، به دنبال کاهش هزینه‌های شرکت آب و فاضلاب است؛ به این صورت که در این مدل باید منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در دوره d در روز r به نزدیک‌ترین مخزن منتقل شده و مناطق مصرف نیز در دوره d در روز r باید آب ترکیبی خود را از نزدیک‌ترین مخزن تأمین کنند. در رابطه با آب شیرین نیز به‌دلیل اینکه مخزن و منبع تأمین از قبل انتخاب شده است، مدل به دنبال این است که حداقل میزان آب با کیفیت بالای شرب از منبع مخصوص به مخزن مخصوص منتخب انتقال یابد؛ همچنین حداقل میزان آب شیرین با کیفیت بالای شرب نیز از مخزن به مناطق مصرف منتقل شود.

محدودیت‌های مدل دوم

$\sum_i M_{idrj} + \sum_{ip} MU_{ipdrj} = MB_{jdr}$	$\forall j, \forall d, \forall r$	(۱۶)
$MB_{jdr} \leq F_j$	$\forall j , \forall d , \forall r$	(۱۷)
$\sum_a ME_{jdra} \leq MB_{jdr}$	$\forall j , \forall d , \forall r$	(۱۸)
$\sum_a ME_{jdra} \leq F_j$	$\forall j , \forall d , \forall r$	(۱۹)
$\sum_j ME_{jdra} \leq VB_{adr}$	$\forall a , \forall d , \forall r$	(۲۰)
$\sum_j \sum_d M_{idrj} \leq SS_{ir}$	$\forall i , \forall r$	(۲۱)
$\sum_j \sum_d MU_{ipdrj} \leq SU_{ipr}$	$\forall ip , \forall r$	(۲۲)
$\sum_{ii} MS_{iiddrjj} \geq \sum_a MES_{jjddra}$	$\forall jj, \forall dd, \forall r$	(۲۳)
$\sum_a MES_{jjddra} \leq FI_{jj}$	$\forall jj, \forall dd, \forall r$	(۲۴)
$\sum_{jj} MES_{jjddra} \geq VBI_{addr}$	$\forall a, \forall dd, \forall r$	(۲۵)
$\sum_{jj} \sum_{dd} MS_{iiddrjj} \leq SI_{iir}$	$\forall ii, \forall r$	(۲۶)
$\sum_{jj} MS_{iiddrjj} = \sum_{jj} MBS_{jjddr}$	$\forall ii, \forall dd, \forall r$	(۲۷)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_{a} MES_{jjddra} \leq MBS_{jjddr} \qquad \forall jj, \forall dd, \forall r \qquad (۲۸)$$

محدودیت‌های دامنه متغیرهای تصمیم: ($T(C')$: مقدار تابع هدف مدل دوم)

$$T(C') \geq 0 \qquad (۲۹)$$

$$M_{idrj} \geq 0 \qquad (۳۰)$$

$$MU_{ipdrj} \geq 0 \qquad (۳۱)$$

$$MS_{iiddrjj} \geq 0 \qquad (۳۲)$$

$$ME_{jdra} \geq 0 \qquad (۳۳)$$

$$MES_{jjddra} \geq 0 \qquad (۳۴)$$

$$MB_{jdr} \geq 0 \qquad (۳۵)$$

$$MBS_{jjddr} \geq 0 \qquad (۳۶)$$

رابطه ۱۶، نشان می‌دهد که در دوره d از روز r میزان آب سطحی واردشده از منابع سطحی به یک مخزن به همراه میزان آب زیرزمینی واردشده از منابع زیرزمینی به همان مخزن میزان آب ترکیبی موجود در همان مخزن را نشان می‌دهد.

در رابطه ۱۷، ظرفیت مخازن مورداشاره واقع شده است. با توجه به اینکه حجم مخازن ظرفیت مشخصی دارد، میزان آب ترکیبی موجود در یک مخزن در دوره d از روز r باید حداکثر به‌اندازه ظرفیت آن مخزن باشد.

رابطه ۱۸، نشان می‌دهد میزان آب ترکیبی منتقل‌شده از هر مخزن به مناطق مصرف قم در دوره d از روز r باید از میزان آب ترکیبی موجود در همان مخزن در دوره d از روز r بیشتر نباشد. رابطه ۱۹، نشان می‌دهد که میزان آب ترکیبی منتقل‌شده از هر مخزن به مناطق مصرف قم در دوره d از روز r باید از ظرفیت همان مخزن بیشتر نباشد.

رابطه ۲۰، نشا می‌دهد که میزان آب ترکیبی منتقل‌شده از همه مخازن به هر منطقه مصرف قم در دوره d از روز r باید از میزان آب ترکیبی موردنیاز آن منطقه در دوره d از روز r کمتر نباشد؛ به‌عبارت‌دیگر نیازهای مصرفی مناطق به آب (ترکیبی) باید تأمین شود.

با توجه به محدودیت منابع که پیش‌تر نیز اشاره شد، در رابطه ۲۱، این مطلب نشان داده شده است؛ به‌عبارت‌دیگر این محدودیت تضمین می‌کند که حداکثر به‌اندازه ظرفیت هر منبع آب سطحی شرکت آب و فاضلاب می‌تواند آب را از آن منبع به مخازن مخصوص آب ترکیبی در دوره d از روز r انتقال دهد.

رابطه ۲۲، نیز همین مطلب را در رابطه با منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد؛ به‌عبارت‌دیگر با توجه به مسائل زیست‌محیطی استخراج از منابع زیرزمینی به هر میزان مجاز نیست و حداکثر به میزان اعلام‌شده شرکت آب و فاضلاب مجاز به انتقال آب‌های زیرزمینی از هر منبع آب زیرزمینی به مخازن آب ترکیبی در دوره d از روز r است.

رابطه ۲۳، نشان می‌دهد که میزان آب شیرین منتقل‌شده از منبع آب شیرین به مخزن مخصوص باید از میزان آب شیرین خارج‌شده از آن مخزن مخصوص به مناطق مصرف قم در دوره dd از روز r کمتر نباشد.

رابطه ۲۴ نشان می‌دهد که میزان آب شیرین منتقل‌شده از مخزن مخصوصش به مناطق مصرف قم در دوره dd از روز r نباید از ظرفیت همان مخزن بیشتر باشد.

رابطه ۲۵، نشان می‌دهد که میزان آب شیرین منتقل‌شده از مخزن مخصوص به هر منطقه مصرف قم در دوره dd از روز r نباید از میزان آب شیرین موردنیاز آن منطقه در دوره d از روز r کمتر باشد؛ به‌عبارت‌دیگر باید نیازهای مناطق مصرف به آب شیرین تأمین شود.

با توجه به محدودیت منابع که پیش‌تر نیز اشاره شد، در رابطه ۲۶، نیز این مطلب نشان داده شده است؛ به‌عبارت‌دیگر محدودیت هفدهم تضمین می‌کند که حداکثر به‌اندازه ظرفیت هر منبع آب شیرین شرکت آب و فاضلاب می‌تواند آب را از آن منبع به مخازن مخصوص آب شیرین در دوره dd از روز r انتقال دهد.

رابطه ۲۷، نشان می‌دهد که میزان آب شیرین منتقل‌شده از منبع آب شیرین تا مخزن مخصوص با میزان آب شیرین در آن مخزن در دوره dd در روز r برابر است؛ به‌عبارت‌دیگر هر چه از منبع آب شیرین منتقل شده است در مخزن مخصوص وارد شده و موجودی آب شیرین را در مخزن مخصوص تشکیل داده است.

رابطه ۲۸، نشان می‌دهد که میزان آب شیرین منتقل‌شده از مخزن مخصوص به مناطق مصرف قم در دوره dd از روز r نباید از میزان آب شیرین موجود در مخزن مخصوص در دوره dd از روز r بیشتر باشد.

منطقه موردمطالعه. این پژوهش در شهر قم انجام شده است. شهر قم واقع در استان قم یکی از استان‌های مرکزی ایران بوده و در منطقه‌ای کم آب واقع شده است. دو مدل تشریح‌شده در این مقاله توزیع بهینه منابع آبی بین مناطق مصرف شهر قم را ارائه می‌کنند. شهر قم از ۸ منطقه شهری تشکیل شده است. منابع تأمین‌کننده آب این شهر ۴ منبع است که دو منبع آن سطحی (به نام‌های q و b) و دو منبع تأمین‌کننده زیرزمینی (به نام‌های c و y) هستند. محل قرارگیری این مناطق به همراه جمعیت ساکن در آن منطقه در شکل ۶ مشاهده می‌شود. حداکثر میزان تأمین آب هر منبع برای توزیع به مصارف شهری، قیمت خرید یک مترمکعب آب از هر منبع و

ظرفیت هر مخزن به تفکیک در جدول ۲، آورده شده است (با توجه به اینکه قم منطقه‌ای کویری است و دارای منابع آب باکیفیت برای شرب و یا سایر نیازهای آبی ذی‌نفعان به‌اندازه کافی نیست، شرکت آب و فاضلاب برای پوشش‌دهی کامل به نیازهای آبی ذی‌نفعان مجبور به واردکردن آب باکیفیت از استان یا استان‌های دیگر است. در این پژوهش با توجه به حساسیت‌های موجود در ایران مبنی بر انتقال منابع آبی از یک شهر به شهر دیگر یا استان دیگر و همچنین مسائل امنیتی مربوط به آن بنا به گفته کارشناسان زی‌ربط از بردن نام منابع آبی و محل دقیق قرارگیری آن‌ها اجتناب شده و نامگذاری‌ها با حروف اختصاری بوده است).

جدول ۲. مقادیر هزینه خرید از هر منبع، ظرفیت فروش هر منبع به همراه ظرفیت مخازن

هزینه خرید یک مترمکعب آب از منبع سطحی q (ریال)	۱۰۰۰	ظرفیت مخزن O (مترمکعب)	۹۰۰۰۰
هزینه خرید یک مترمکعب آب از منبع سطحی b (ریال)	۱۵۰۰	ظرفیت مخزن S (مترمکعب)	۷۰۰۰۰
هزینه خرید یک مترمکعب آب از منبع زیرزمینی c (ریال)	۷۰۰	ظرفیت مخزن G (مترمکعب)	۳۰۰۰۰
هزینه خرید یک مترمکعب آب y از منبع زیرزمینی y (ریال)	۹۰۰	ظرفیت مخزن E (مترمکعب)	۱۰۰۰۰۰
ظرفیت فروش روزانه منبع آب سطحی q (مترمکعب)	۱۹۰۰۸۰	ظرفیت مخزن L (مترمکعب)	۱۲۰۰۰۰
ظرفیت فروش روزانه منبع آب سطحی b (مترمکعب)	۵۶۱۶۰۰		
ظرفیت فروش روزانه منبع آب زیرزمینی c (مترمکعب)	۱۵۹۸۴۰		
ظرفیت فروش روزانه منبع آب زیرزمینی y (مترمکعب)	۵۱۸۴۰		

در این پژوهش فرض شده است که نیازهای آبی هر منطقه مقداری مشخص است. در مدل دوم مخزن G با توجه به دسترسی بهتر به مناطق شهری و سایر مسائل فنی به‌عنوان مخزن مختص آب شرب انتخاب شد و منبع آب سطحی b با توجه به کیفیت بالای آن علاوه بر مسائل فنی و دسترسی بهتر به‌عنوان منبع تأمین‌کننده مختص آب شرب در دوره dd انتخاب شد.

در این پژوهش با توسعه و حل مدل‌های تخصیص بهینه آب به مناطق مصرف شهر قم می‌توان در مدل اول به سؤال زیر پاسخ داد:

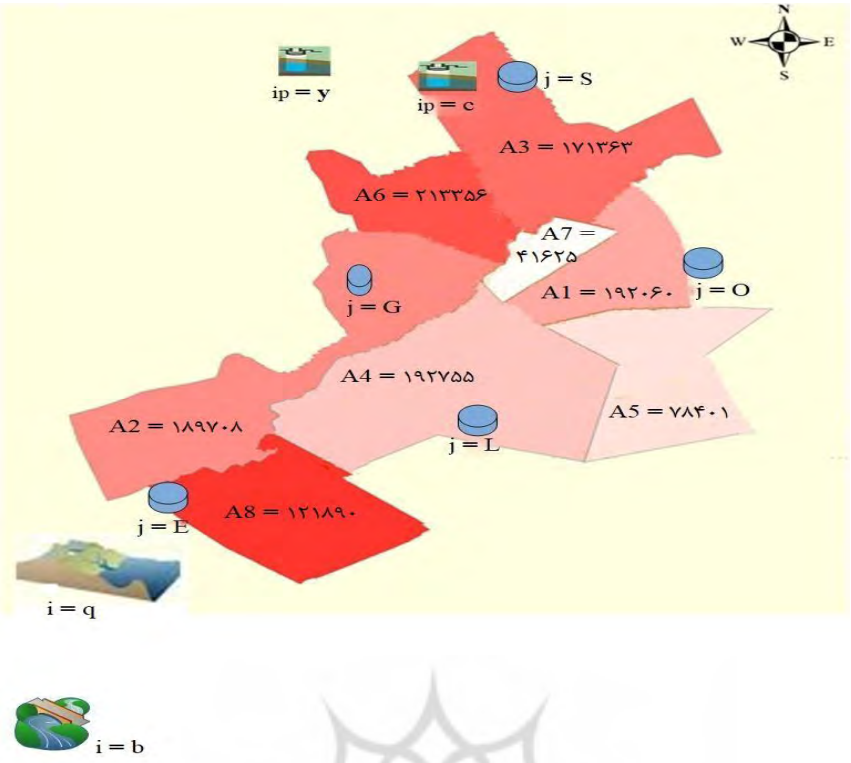
ـ میزان انتقال آب از هر منبع سطحی و هر منبع زیرزمینی با در نظر گرفتن محدودیت این منابع برای تخصیص به مناطق مصرف به چه میزان باشد تا هم نیازهای مناطق مصرف پوشش داده شود و هم هزینه‌های شرکت کمتر باشد؟

در مدل دوم علاوه بر سؤال بالا می‌توان به سؤال زیر نیز پاسخ داد:

ـ آیا می‌شود با استفاده از مدل ریاضی طراحی‌شده مدیریت توزیع منابع آب شهری از منابع مختلف با کیفیت‌های مختلف هم نیاز شهروندان را به باکیفیت‌ترین آب (تخصیص باکیفیت‌ترین منبع آبی به شرب ذی‌نفعان) برآورده کرد و هم با تخصیص بهینه از منابع تا مناطق مصرف، هزینه‌های شرکت در کمترین حالت باشد؟

بنا به آنچه گفته شد، هدف از انجام این پژوهش، توسعه و حل مدل‌های ریاضی در راستای تخصیص بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تأمین نیازهای آبی مناطق مصرف است. در این پژوهش با ارائه مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی برای مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی سعی در مدیریت بهینه توزیع منابع آب شهری با تخصیص بهینه آب به ذی‌نفعان خواهد شد. در رویکرد اقتصادی مدیریت منابع آب شهری هدف حداقل‌کردن هزینه اختصاص آب به مصارف مختلف است. در این پژوهش علاوه بر حداقل‌کردن هزینه تخصیص و نیز الزام تأمین نیاز کمی تمامی مناطق مصرف، تأمین باکیفیت‌ترین آب برای شرب موردنیاز مناطق مصرف نیز در مدل دوم لحاظ خواهد شد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۶. نقشه قم به همراه جمعیت هر منطقه و محل تقریبی قرارگیری مخازن و منابع آب سطحی و زیرزمینی قم

پانویس شکل ۶:

j: اندیس مخازن به‌عنوان مثال $j=s$ یعنی مخزن S

i: اندیس منابع آب سطحی به‌عنوان مثال $i=q$ یعنی منبع آب سطحی q

ip: اندیس منابع آب زیرزمینی به‌عنوان مثال $ip=c$ یعنی منبع آب زیرزمینی c

A: اندیس مناطق شهر قم به‌عنوان مثال $A7$ یعنی منطقه شماره ۷ و $A7=۴۱۶۲۵$؛ یعنی جمعیت منطقه ۷، ۴۱۶۲۵ نفر است.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج اجرای مدل‌ها در شهر قم در این بخش آورده شده است. در مدل اول، وضعیت موجود توزیع منابع آبی در میان مناطق مصرف شهر قم بررسی شد. وضعیت موجود بدین شرح است: منابع تأمین‌کننده آب شهر قم از دو منبع آب سطحی و دو منبع آب زیرزمینی تشکیل شده‌اند. هر یک از این منابع در فواصل مختلفی از شهر قرار گرفته‌اند. درضمن کیفیت این آب‌ها با هم یکسان نیست. زنجیره تأمین آب مناطق مصرف شهر قم در مدل اول بدین شکل است که آب‌های سطحی بعد از تصفیه به مخزن منتقل شده و سپس به مناطق مصرف انتقال می‌یابند. منابع آب زیرزمینی هم بعد از تصفیه کلی مستقیماً به سمت مناطق مصرف منتقل می‌شوند. در مدل اول، هدف شرکت آب و فاضلاب کاهش هزینه این زنجیره تأمین آب است. این هدف در

مدل اول به زبان ریاضی بدین صورت بیان شد که برای کاهش هزینه‌های انتقال، آب‌های سطحی به نزدیک‌ترین مخزن منتقل شوند و سپس این آب‌ها از این مخازن به نزدیک‌ترین مناطق مصرف انتقال یابند؛ اما شرکت آب و فاضلاب یک سری الزاماتی را نیز به‌عنوان محدودیت باید می‌پذیرفت ازجمله اینکه باید تمامی نیازهای مناطق مصرف به آب شهری پاسخ داده شود.

مدل دوم، مدلی پیشنهادی است. در این مدل یک منبع از منابع تأمین‌کننده آب شهری فقط مختص شرب انتخاب شد؛ همچنین یک مخزن که حائز شرایط لازم بود، فقط مختص آب شرب انتخاب و در مدل مقرر شد که چند ساعت از شبانه‌روز (برای مثال، ۲ ساعت از ۲۴ ساعت) فقط آب شیرین به مناطق شهری اختصاص یابد. سایر منابع سطحی و زیرزمینی ابتدا به سایر مخازن باقیمانده منتقل شوند. این آب‌ها در مخازن با هم ترکیب شده و آب ترکیبی را تشکیل می‌دهند و سپس در ساعات باقیمانده (برای مثال، در ۲۲ ساعات باقیمانده) به مناطق مصرف منتقل شوند. قابل‌ذکر است تمامی منابع تأمین‌کننده آب مناطق شهری قم برای تمامی مصارف اعم از شرب و غیر شرب مناسب هستند؛ ولی کیفیت آن‌ها با هم فرق می‌کند. در مدل دوم نیز کمترین هزینه تأمین آب مناطق مصرف برای شرکت به‌عنوان هدف لحاظ شد؛ همچنین محدودیت اینکه تمامی نیازهای مناطق مصرف باید پوشش داده شود نیز اعمال شد.

با توجه به جدول ۳، مجموع آب سطحی و زیرزمینی منتقل‌شده به مناطق مصرف کلیه نیازهای مناطق مصرف قم را پوشش داده است. نتایج اجرای مدل اول در قم نشان داد که شهر قم تقریباً ۸۹ درصد از نیازهای مناطق هشت‌گانه مصرف خود را از منابع آب زیرزمینی و ۱۱ درصد از نیازهای خود را از منابع آب سطحی تأمین می‌کند. دلیل این امر کاملاً واضح است. شهر قم در منطقه‌ای کم‌آب واقع شده است و علت استفاده کم از منابع سطحی که نتایج مدل به‌درستی آن را نشان می‌دهد، به‌دلیل هزینه بالای انتقال آب از مسافتی طولانی به علت هزینه بالای انتقال آب از منابع سطحی به مخازن است و در برخی موارد به‌علت وارداتی‌بودن آب‌های سطحی مدیران شرکت‌های آب و فاضلاب ترجیح می‌دهند به علت امنیت بالای تأمین از منابع زیرزمینی، از منابع زیرزمینی در تأمین آب مناطق مصرف بهره‌مند شوند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتایج مدل اول

جدول ۳. نتایج حاصل از حل مدل اول

متغیر تصمیم	مقدار
مجموع آب منتقل‌شده از منابع سطحی q و b به مخازن در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۷۸۷۹۲/۸۶
مجموع آب سطحی منتقل‌شده از مخازن به مناطق مصرف در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۷۸۷۹۲/۸۶
مجموع آب منتقل‌شده از منابع آب زیرزمینی به مناطق مصرف در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۴۵۴۷۸۲/۱۰۶
مجموع آب سطحی و زیرزمینی منتقل‌شده به مناطق مصرف در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۶۳۳۵۷۴/۹۶۶
کل تقاضای آب مناطق مصرف در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۶۳۳۵۷۴/۹۶۶
درصد تأمین آب مناطق مصرف از منابع آب سطحی در طول یک هفته برنامه‌ریزی	۱۰/۹۴۸۸
درصد تأمین آب مناطق مصرف از منابع آب زیرزمینی در طول یک هفته برنامه‌ریزی	۸۹/۰۵۵۱۲
مجموع هزینه‌های شرکت آب و فاضلاب در طول یک هفته برنامه‌ریزی در مدل اول (به میلیارد ریال)	۱۲۴/۸۴۹

نتایج مدل دوم. جدول ۴، نتایج مدل دوم را به‌صورت کلی نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴، میزان آب منتقل‌شده از منابع سطحی، زیرزمینی و منبع اختصاصی شرب به مخازن با میزان آب منتقل‌شده از مخازن به مناطق مصرف برابر است. نتایج مدل دوم نشان می‌دهد که شرکت آب و فاضلاب در تأمین آب مناطق مصرف ۸/۰۲ درصد از آب سطحی، ۸۷/۳۴ درصد از آب زیرزمینی و ۴/۶۳ درصد از منبع آب مختص شرب استفاده می‌کند. نیازهای مناطق مصرف در قم عبارت‌اند از: نیاز به شرب و نیازهای غیرشرب. مناطق مصرف نیازهای غیرشرب خود را در زمان d از آب ترکیبی که شرکت آب و فاضلاب در اختیارشان می‌گذارد، تأمین می‌کنند؛ همچنین نیازهای شرب خود را در زمان dd از آب مختص شرب (آب شیرین) تأمین می‌کنند.

کل تقاضای آب مناطق مصرف در مدت یک هفته ۱۶۳۳۵۷۵ مترمکعب است؛ البته است کل تقاضای آب مناطق مصرف در مدت یک هفته در مدل اول ۱۶۳۳۵۷۴/۹۶۶ مترمکعب و در مدل دوم ۱۶۳۳۵۷۵/۰۳۵مترمکعب است که علت این اختلاف جزئی در گردکردن برخی اعداد در تقاضاهای مصارف آب شیرین و مصارف به‌جز شرب در مدل دوم است. به‌طور خلاصه در مدل اول، وضعیت موجود توزیع آب شهر به زبان ریاضی مدل‌سازی شد. مدل دوم، مدلی پیشنهادی است. با اجرای مدل اول که نمایانگر وضعیت موجود است، هزینه شرکت ۱۲۴/۸۴۹ میلیارد ریال در طی یک هفته برآورد شد. با اجرای مدل دوم که مدل پیشنهادی این پژوهش است،

هزینه‌های شرکت ۲۰۳ میلیارد ریال در طی یک هفته برآورد شد؛ بنابراین مدیران با کنار هم قراردادن این دو مدل می‌توانند تصمیم بگیرند که آیا حاضر به پرداخت هزینه‌های اجرای مدل دوم در راستای برآورده‌کردن نیازهای شهروندان هستند یا خیر؟

جدول ۴. نتایج حاصل از حل مدل دوم

متغیر تصمیم	مقدار	متغیر تصمیم	مقدار
مجموع آب سطحی واردشده به مخازن در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۳۱۰۲۲/۷۶	درصد تأمین آب مناطق مصرف از منابع سطحی در طول یک هفته برنامه‌ریزی	۸/۰۲۰۶۱۵
مجموع آب زیرزمینی واردشده به مخازن در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۴۲۶۸۷۹/۳۲۱	درصد تأمین آب مناطق مصرف از منابع زیرزمینی در طول یک هفته برنامه‌ریزی	۸۷/۳۴۷۰۳
مجموع آب شیرین واردشده به مخزن مخصوص در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۷۵۶۷۲/۹۵۴	مجموع آب شیرین منتقل‌شده از مخزن مخصوص به مناطق مصرف در طول یک هفته برنامه‌ریزی(مترمکعب)	۷۵۶۷۲/۹۵۴
مجموع آب سطحی و زیرزمینی واردشده به مخازن ترکیبی در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۵۵۷۹۰۲/۰۸۱	مجموع آب ترکیبی منتقل‌شده از مخازن به مناطق مصرف در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۵۵۷۹۰۲/۰۸۱
مجموع آب سطحی و زیرزمینی و آب شیرین واردشده به مخازن ترکیبی و مخزن مخصوص در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۶۳۳۵۷۵/۰۳۵	درصد تأمین آب مناطق مصرف از منبع آب شیرین در یک هفته	۴/۶۳۲۳۵۳
میزان آب شیرین موردنیاز مناطق مصرف فقط مختص شرب در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۷۵۶۷۲/۹۵۴	میزان آب موردنیاز مناطق مصرف به‌جز مصرف شرب یا همان آب ترکیبی موردنیاز در طول یک هفته برنامه‌ریزی (مترمکعب)	۱۵۵۷۹۰۲/۰۸۱
مجموع هزینه‌های شرکت آب و فاضلاب در یک هفته در مدل اول (به میلیارد ریال)	۲۰۳		

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

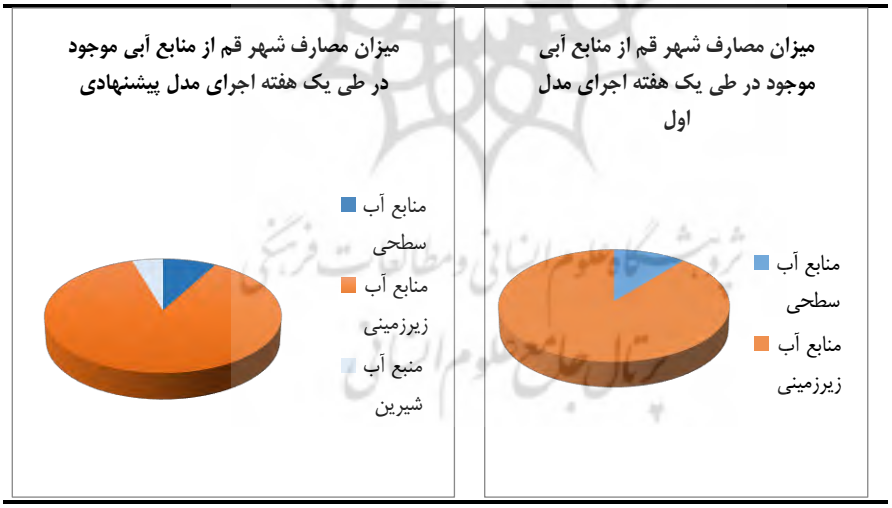
۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتیجه‌گیری. در این پژوهش برای توزیع بهینه منابع آب شهری در میان مناطق شهری دو مدل ریاضی بهینه‌سازی طراحی شده است. این مدل‌ها در شهر قم بررسی شدند. در این پژوهش مقرر شد نیازهای مناطق شهری به آب تماماً پاسخ داده شود. پاسخگویی به تمامی نیازهای آبی

مناطق مصرف باید با رعایت کمترین هزینه توزیع انجام پذیرد که طراحی مدل ریاضی اول در این راستا است؛ درنتیجه با حل مدل اول به این سؤال پاسخ داده شد که میزان انتقال آب از هر منبع سطحی و زیرزمینی با درنظرگرفتن محدودیت این منابع برای تخصیص به مناطق مصرف به چه میزان باشد تا هم نیازهای مناطق مصرف پوشش داده شود و هم هزینه‌های شرکت کمتر باشد؟

در شهر قم حجم آب منابع آبی که کیفیت بالایی داشته باشند، محدود است؛ بنابراین تخصیص آب از این منابع به تمامی مصارف مناطق شهر قم امکان‌پذیر نیست. از سوی دیگر مناطق شهری خواهان آبی هستند که بالاترین کیفیت را برای شرب داشته باشد. مدل ریاضی دوم در این راستا طراحی شده است؛ درنتیجه با حل مدل دوم به این سؤال پاسخ داده شد که آیا می‌شود با استفاده از مدل ریاضی توزیع آب از منابع مختلف با کیفیت‌های مختلف هم نیاز شهروندان را از لحاظ آب باکیفیت (یعنی کیفیت آب تخصیص‌داده‌شده برای شرب آن منطقه بالاترین کیفیت را در میان منابع تأمین‌کننده موجود داشته باشد) پاسخ داد و هم اطمینان داشت با تخصیص بهینه از منابع تا مناطق مصرف، هزینه‌های شرکت در کمترین حالت باشد؟

با توجه به حل دو مدل ریاضی با استفاده از نرم‌افزار گمز مشخص شد که شرکت آب و فاضلاب برای اجرای مدل اول در طول یک هفته برنامه‌ریزی متحمل هزینه‌ای برابر ۱۲۴/۸۴۹ میلیارد ریال و برای اجرای مدل دوم در طول یک هفته برنامه‌ریزی متحمل هزینه‌ای برابر ۲۰۳ میلیارد ریال خواهد شد. شکل ۷ میزان مصارف قم از منابع آبی موجود را در طی یک هفته برنامه‌ریزی نشان می‌دهد.



شکل ۷. میزان مصارف قم از منابع آبی موجود

نتایج دو مدل طراحی‌شده می‌تواند به مدیران برنامه‌ریز در تصمیم‌گیری برای اجرای مدل اول با توجیه صرفه اقتصادی آن یا اجرای مدل دوم با توجیه برآورده‌شدن خواسته مناطق مصرف مبنی بر دسترسی به باکیفیت‌ترین منبع آبی موجود برای شرب کمک کند.

پیشنهاد اول. حوادث غیرمترقبه تاکنون موجب خسارات بسیاری به کشور ایران شده است؛ زیرا شرایط بحرانی پس از حوادث غیرمترقبه باعث بروز تقاضاهای حجیم در زمان کوتاه برای موارد حیاتی از قبیل آب و مواد غذایی، مواد دارویی، پناهگاه و سایر ملزومات در سریع‌ترین زمان ممکن می‌شود [۳]؛ بنابراین لازم است مسئولان مرتبط از قبل برنامه‌ریزی‌های لازم را برای مواجهه برای چنین شرایطی داشته باشند. ازآنجاکه هر شهری دارای شرایط خاص خود است و در مواقع بحران شرایط پیش‌آمده برای یک شهر لزوماً با شهر دیگر یکسان نیست، لازم است تمهیدات لازم برای توزیع بهینه منابع آبی درمیان شهروندان آسیب‌دیده در هر شهر از قبل اندیشیده شده باشد. برای مثال، موسوی و همکاران (۱۴۰۰)، در شرایط بحرانی با درنظرگرفتن موقعیت فعلی بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مراکز بهینه‌ای با عنوان «مکان‌های درمان موقت» انتخاب و نحوه انتقال مصدومان از نقاط مختلف شهر به این مکان‌ها را ارزیابی کردند. در زمینه تأمین آب شهر نیز مسئولان باید چنین پژوهش‌هایی را برای مواقع زلزله و دیگر حوادث در نظر داشته باشند؛ زیرا که در شرایط بحرانی، تأمین آب به‌خصوص در فصول گرم، برای شهروندان آسیب‌دیده بسیار ضروری است و آب باید به‌طور مداوم برای شهروندان دردسترس باشد.

پیشنهاد دوم. همان‌طور که گفته شد، سازمان آب منطقه‌ای از هر منبع آب، اعم از منابع سطحی و زیرزمینی فقط مقداری را برای استفاده برای شهر به شرکت آب و فاضلاب واگذار می‌کند و شرکت آب و فاضلاب فقط مجاز است حداکثر به‌اندازه آب تخصیص‌داده‌شده از منابع را برای مصرف در اختیار مناطق مصرف قرار دهد. پیشنهاد دوم این مطالعه تخصیص بهینه آب منابع بین ذی‌نفعان آن منبع است .کاظمی و همکاران (۱۳۹۰)، در مطالعه خود تخصیص بهینه منابع انرژی کشور را به مصارف ذی‌نفعان ازجمله مصارف شهری، مصارف وسایل نقلیه، مصارف واحدهای صنعتی و نیروگاه‌ها و کشاورزی و همچنین بخشی نیز برای صادرات را بررسی کردند. در تخصیص بهینه باید اهداف سیاسی، اقتصادی و زیست‌محیطی مدنظر مدیران باشد. پیشنهاد دوم این پژوهش در همین راستا است. با توجه به اهمیت آب و منابع آبی در کشور ایران باید تخصیص بهینه آب از منابع، اعم از منابع سطحی و زیرزمینی، درمیان ذی‌نفعان بررسی شود و با رعایت اهداف سیاسی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌اندازه مناسب آب از هر منبع در اختیار ذی‌نفعان شهری یا دیگر ذی‌نفعان همانند کشاورزی یا صنعت قرار گیرد.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Antonio, P. G. J., Vicent, A. L., & Ramón, F. P. (2022). A composite indicator index as a proxy for measuring the quality of water supply as perceived by users for urban water services. *Journal of Technological Forecasting and Social Change*, *174*, 121300.
2. Arfanuzzaman, M., & Rahman, A. A. (2017). Sustainable water demand management in the face of rapid urbanization and ground water depletion for social–ecological resilience building. *Journal of Global Ecology and Conservation*, *10*, 9-22
3. Babamiri, A. S., Pishvaee, M. S., & Mirzamohammadi, S. (2020). The analysis of financially sustainable management strategies of urban water distribution network under increasing block tariff structure: A system dynamics approach. *Journal of Sustainable Cities and Society*, *60*, 102193.
4. Biswas, R. R., Sharma, R., & Gyasi-Agyei, Y. (2022) Adaptation to climate change: A study on regional urban water management and planning practice. *Journal of Cleaner Production, 355,* 131643
5. Darbandsari, P., Kerachian, R., Malakpour-Estalaki, S., & Khorasani, H. (2020). An agent-based conflict resolution model for urban water resources management. *Journal of Sustainable Cities and Society*, *57*, 102112.
6. Fattahi, P., & Fayyaz, S. (2010). A compromise programming model to integrated urban water management. *Journal of Water resources management*, *24(6)*, 1211-1227.
7. Guthrie, L., De Silva, S., & Furlong, C. (2017). A categorisation system for Australia's Integrated Urban Water Management plans. *Journal of Utilities Policy*, *48*, 92-102.
8. Hu, X., Han, Y., Yu, B., Geng, Z., & Fan, J. (2021). Novel leakage detection and water loss management of urban water supply network using multiscale neural networks. *Journal of Cleaner Production*, *278*, 123611.
9. Kazemi, A., Mehrgan, M. R., & Shakori Ganjavi, H. (2011). Providing a multi objective linear programming model for the optimal allocation of Iranian energy resources. *The Journal of Industrial Management Perspective*, *3*, 43-65. (In Persian)
10. Liu, S., Konstantopoulou, F., Gikas, P., & Papageorgiou, L. G. (2011). A mixed integer optimisation approach for integrated water resources management. *Journal of Computers& Chemical Engineering*, *35(5)*, 858-875.
11. Mousavi, S., Sajadi, S. M., Alem Tabriz., A & Najafi, S. E. (2021). Designing a Hierarchical Network of Temporary Urban Medical Centers in a Disaster through a Hybrid Approach of Mathematical Model Simulation. *The Journal of Industrial Management Perspective*, *11(42)*, 99-124. (In Persian)

12. Noiva, K., Fernández, J. E., & Wescoat Jr, J. L. (2016). Cluster analysis of urban water supply and demand: toward large-scale comparative sustainability planning. *Journal of Sustainable Cities and Society*, *27*, 484-496.
13. Noori, A., Bonakdari, H., Hassaninia, M., Morovati, K., Khorshidi, I., Noori, A., & Gharabaghi, B. (2022). A reliable GIS-based FAHP-FTOPSIS model to prioritize urban water supply management scenarios: A case study in semi-arid climate. *Journal of Sustainable Cities and Society*, *81*, 103846.
14. Rasifaghihi, N., Li, S. S., & Haghighat, F. (2020). Forecast of urban water consumption under the impact of climate change. *Journal of Sustainable Cities and Society*, *52*, 101848.
15. Vahdani, B., & Farzaneh, K.T. (2022). Offering a Mathematical Model for the Location-Inventory Problem for Planning Response to Losses: Meta-heuristic Algorithm. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 12(3), 239-278. (In Persian)
16. Wali, S. U., Alias, N. B., Harun, S. B., Umar, K. J., Gada, M. A., Dankani, I. M., & Usman, A. A. (2022). Water quality indices and multivariate statistical analysis of urban groundwater in semi-arid sokoto basin, northwestern Nigeria. *Journal of Groundwater for Sustainable Development*, 18, 100779
17. Wang, C., Hou, Y., & Xue, Y. (2017). Water resources carrying capacity of wetlands in Beijing: Analysis of policy optimization for urban wetland water resources management. *Journal of Cleaner Production, 161*, 1180-1191.
18. Zhang, Y., Li, C., Jiang, Y., Sun, L., Zhao, R., Yan, K., & Wang, W. (2022). Accurate prediction of water quality in urban drainage network with integrated EMD-LSTM model. *Journal of Cleaner Production, 354*, 131724.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی