نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۴۰۱-۳۸۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 388-401

مقاله پژوهشی

تخصیص بهینه منابع آب در شرایط بحرانی تحت عدم قطعیت پارامترها با تاکید بر حفظ پایداری منابع آبی با استفاده از روش دستیابی به آرمان (مطالعه موردی: شهرستان مشهد)

فاطمه دادمند[۱]، زهرا ناجی عظیمی[۲*]، ناصر مطهری فریمانی[۳]، کامران داوری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۸

چکیده

وضعیت آب کشور به دلیل خشک‌سالی‌های مکرر توأم با برداشت بیش از حد منابع آبی، به سطح بحرانی رسیده است. لذا پرداختن به تخصیص بهینه منابع آبی در این شرایط، موضوعی مهم و حیاتی است. در مطالعه حاضر، به توسعه مدل تخصیص بهینه منابع آب در شرایط بحرانی و حل این مساله با تاکید بر پیاده‌سازی آن در شهرستان مشهد پرداخته شده است. نوآوری مدل پیشنهادی تحقیق حاضر در نظر گرفتن پایداری منابع آبی و توجه همزمان به کمیت و کیفیت منابع آبی است. در این پژوهش، با در نظر گرفتن مقدار تصادفی پارامتر آب در دسترس، مدل تخصیص تصادفی دو مرحله‌ای ارائه شده است و با روش دستیابی به آرمان حل گردیده و در نرم افزار متلب اجرا شده است. اهداف این مدل، شامل حداکثرسازی سود کاربران مختلف، حداقل‌سازی تخصیص آب شور از منبع زیرزمینی و حداقل‌سازی کمبود آب است. نتایج حاصل از تحقیق بیانگر آن است که حتی در سناریوی ترسالی، منابع آبی در دسترس نمی‌تواند تقاضای بخش‌های مختلف را تامین نماید. در صورت حفظ شاخص پایداری در سطح ۷۵٪ ، مقدار کمبود آب در سناریوی خشکسالی معادل ۵۰۱,۷۵ MCM و در سناریوی سال نرمال معادل ۳۵۸,۷۵ MCM و در سناریوی ترسالی معادل ۷۸,۷۵ MCM است. تحلیل حساسیت مدل با داده‌های مختلف بیانگر آن است که چنانچه در سناریوی خشکسالی، مقدار آب در دسترس از دو منبع سطحی و تصفیه شده به ترتیب معادل ۳۰۰ و ۲۰۰ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شود در این صورت الگوی تخصیص بهینه تغییر پیدا کرده است و مقدار کمبود آب که می‌تواند منجر به اضافه برداشت گردد معادل ۱۰۳,۷۵ MCM است.

واژه های کلیدی: بحران آب، پارامتر تصادفی، تخصیص منابع آبی، روش دستیابی به آرمان

مقدمه

از مجموع کل آب‌های جهان، ۹۷/۴ درصد آن را آب شور دریاها و اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهد که به دلیل شوری در عمل قابل استفاده نیستند. ذخایر آب شیرین تنها ۲/۶ درصد کل حجم ذخایر آب‌های سطح زمین را تشکیل می‌دهد که بخش بیشتر آن به صورت یخ در قطب‌های کره زمین و یخچال‌های طبیعی و آب‌های زیرزمینی وجود دارد. به این ترتیب، از مجموع آب‌های کره زمین تنها ۰/۰۱۴ درصد آن قابل‌استفاده است (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). متاسفانه مقدار آب شیرین، تمیز و سالم به علت فعالیت‌های انسان‌ها و تغییرات آب و هوایی در حال کاهش است (Chen et al., 2015). باید توجه داشت که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان وجود ندارد، تنها کاری که می‌توان انجام داد، بهبود استفاده از آن است (ببران و هنربخش، ۱۳۸۷). از طرفی به دلیل توسعه اقتصادی و افزایش جمعیت در سرتاسر جهان، تقاضای آب شیرین نیز رو به رشد بوده است که باعث کاهش کل منابع آب شیرین شده است (Li et al., 2020). بنابراین در حال حاضر مقدار عرضه آب، تقاضا را برآورده نمی‌کند. در نتیجه شکاف بین عرضه و تقاضای آب به یک مانع عمده برای توسعه اقتصادی تبدیل شده است خصوصا برای مناطقی که با

۱- گروه مدیریت دانشکده علوم انسانی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
دانش آموخته دکتری، گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: znajiazimi@um.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.2.14.6

کمبود شدید آب مواجه هستند. در این مناطق منازعات بین کاربران مختلف آب برای تامین آب به وجود آمده است. لذا برای دستیابی به توسعه پایدار و داشتن امنیت اجتماعی باید روش‌های تخصیص بهینه آب مد نظر قرار گیرد (Xu et al., 2012).

ایران سرزمینی خشک با نزولات جوی بسیار نامنظم است به گونه‌ای که میانگین بارندگی سالانه ایران در حدود یک سوم مقدار مشابه در سطح خشکی‌های کره زمین است (عیسی زاده و دین پژوه، ۱۳۹۷). بنابراین باید پذیرفت که ایران خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است (علیزاده، ۱۳۹۴). از سوی دیگر رشد سریع جمعیت نیز در طول سالیان گذشته رخ داده است. به طوری که جمعیت ایران، از حدود ۸ میلیون نفر در سال ۰۶-۱۳۰۰ به ۸۱ میلیون نفر تا پایان سال ۱۳۹۶ رسیده است. بنابراین میزان سرانه آب تجدیدپذیر سالانه کشور از میزان حدود۱۳۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۰۰ به حدود ۱۴۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۹۲ تقلیل یافته است (Madani et al., 2016). خشکسالی‌های مکرر توأم با برداشت بیش از حد آب‌های سطحی و زیرزمینی از طریق شبکه بزرگی از زیرساخت‌های هیدرولیکی و چاه‌های عمیق، وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده است. از نشانه‌های این وضعیت، خشک شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، تخریب کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و طوفان‌های گرد و غبار است (Madani et al., 2016). بنابراین محدودیت توسعه منابع آب، مدیریت ضعیف و تلفات زیاد آب در بخش کشاورزی، کاربرد سیاست تخصیص مجدد منابع آب را ضروری می‌سازد (پرهیزکاری و بدیع برزین، ۱۳۹۶).

تخصیص منابع آبی، اصولا با درگیری‌هایی به منظور جلب نظر سیاست گذاران و متقاضیان آب مواجه است. محققان روش‌های متفاوتی برای دستیابی به راه‌حل بهینه ارائه داده‌اند (عبدلی و مهاجر شجاعی، ۱۳۹۸). یک روش کاربردی در این زمینه، استفاده‌کردن از رویکرد تخصیص بهینه منابع است. منظور از تخصیص بهینه آب، تعیین بهینه میزان آبی که از منابع سطحی، زیرزمینی به منظور تامین نیازهای گوناگون در حوضه‌های آبخیز است (اعلمی و همکاران، ۱۳۹۳). لذا از مدل تخصیص می‌توان استفاده کرد و منابع محدود آبی را بین کاربران متعدد به صورت بهینه توزیع نمود. لذا محققان متعددی به مطالعه چگونگی تخصیص بهینه منابع آب پرداخته‌اند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

هوانگ و لوکاس مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای نادقیق[1] را برای تخصیص منابع آب در شرایط نامطمئن به کار برده‌اند. این مدل، ترکیبی از بهینه‌سازی نادقیق[2] و برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله-ای است. این مدل در یک مورد فرضی تخصیص منابع آب در بین کاربران مختلف صنعت، کشاورزی و خانگی به کار برده شده است (Huang and Loucks., 2000). در مطالعه‌ای دیگر، مکسود و همکاران تخصیص منابع آبی را در بین کاربران مختلف (صنعت، کشاورزی و خانگی) با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی با پارامترهای بازه‌ای[3] و با روش تحلیل تصمیم[4] مد نظر قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داده است که این مدل در مقایسه با مدل ارائه شده توسط هوانگ و لوکاس (۲۰۰۰) بهتر می‌تواند عدم قطعیت به شکل‌های مختلف (فازی، تصادفی و بازه‌ای) را در نظر بگیرد. (Maqsood, et al., 2005). لی و همکاران روش برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای برای پارامترهای بازه‌ای[5] را توسعه داده-اند. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که در سناریوی بدترین وضعیت با جریان آب کم، سیستم دچار کمبود خواهد شد. (Li et al., 2006). در یک مطالعه دیگر، لی و هوانگ نحوه تخصیص منابع آب در یک سیستم چند مخزنی را مورد توجه قرار داده‌اند. در این مطالعه، روش برنامه‌ریزی غیرخطی تصادفی دو مرحله‌ای با استفاده از پارامترهای بازه‌ای[6] برای حل این مسئله مورد استفاده قرار گرفته است (Li and Huang., 2008). لی و هوانگ، روش تحلیل نقض فازی تصادفی[7] را برای تخصیص منابع آب به کاربران شهری بر اساس مدل برنامه-ریزی فازی–تصادفی عدد صحیح چند مرحله‌ای[8] را به کار گرفته‌اند (Li and Huang, 2009). در مطالعه‌ای دیگر، گائو و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی دومرحله‌ای تصادفی فازی[9] برای تخصیص منابع آب در شرایط نامطمئن را مورد استفاده قرار داده‌اند. نتایج حاصل از اجرای این مدل نشان داده است که با در نظر گرفتن جریان کم آب، کمبود آب فقط برای کاربران شهری وجود ندارد (Guo et al., 2010).

فان و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی جزئی دو مرحله‌ای نادقیق[10] برای مقابله با عدم اطمینان ارائه شده به صورت فواصل و توزیع‌های احتمالی جزئی[11] ارائه داده‌اند. این مدل در یک مورد فرضی تخصیص آب اجرا شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که بالاترین سود سیستم زمانی بدست آمد، که جریان آب زیاد در نظر گرفته شده است و در این صورت هیچ کمبودی برای کاربران وجود نداشته است.

1- Inexact two-stage stochastic programming
2- Inexact optimization
3- Interval-parameter fuzzy two-stage stochastic programming (IFTSP)
4- Decision analysis
5- Interval-parameter multi-stage stochastic linear programming
6- Interval-parameter two-stage stochastic nonlinear programming
7- Fuzzy- stochastic based violation analysis (FSVA)
8- Multistage fuzzy-stochastic integer programming
9- Fuzzy stochastic two-stage programming
10- Inexact two-stage stochastic partial programming (ITSPP)
11- Partial probability distributions

(Fan et al., 2012). روش برنامه‌ریزی کسری احتمالی فازی دو-طرفه[1] توسط سیوی و همکاران برای تخصیص منابع آب در شرایط نامطمئن توسعه داده شده است. این مدل در یک مورد واقعی مدیریت منابع آب در حوضه رودخانه ژانگ وینان[2] چین اعمال شده است. تحقیق نشان بیانگر آن بوده است که مقادیر آب اختصاص یافته به دو شهر هاندان و آنیانگ[3] با درجات اطمینان مختلف، متفاوت بوده است (Cui et al., 2016). نعمتیان، برای حل مسئله‌ی تخصیص منابع آبی از ترکیب روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای با پارامترهای بازه-ای[4] و روش برنامه‌ریزی احتمالی فازی[5] استفاده کرده است. نتایج نشان داده است که تحت جریان زیاد آب هیچ گونه کمبود آبی برای کاربران وجود نداشته است (Nematian., 2016). ژنگ و همکاران، تخصیص آب در شرایط عدم قطعیت را با استفاده از روش برنامه‌ریزی احتمالی تصادفی چند مرحله‌ای نادقیق[6] مورد توجه قرار داده‌اند. این مدل در تخصیص آب بین کاربران سه‌گانه صنعت، کشاورزی و شهری با هدف حداکثرسازی سود خالص با استفاده از داده‌های مساله فرضی هوانگ و لوکاس (۲۰۰۰) پیاده شده است و برای حل آن از یک الگوریتم ترکیبی شامل شبیه سازی تصادفی[7]، شبکه عصبی رو به عقب[8] و الگوریتم ژنتیک[9] استفاده شده است. نتایج این تحقیق، برنامه‌های بهینه تخصیص آب برای کاربران مختلف در طول افق برنامه ریزی را ارائه نموده است (Zhang et al., 2017). جی و همکاران، تخصیص منابع محدود آب شهر تیانجین[10] در شرق چین را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای نادقیق[11] مورد بررسی قرار داده‌اند. این مدل ترکیبی از برنامه‌ریزی پارامترهای بازه‌ای و برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای بوده است. منابع آب مورد توجه در این مطالعه شامل آب‌های سطحی، زیرزمینی و انتقالی و دریا و آب-های احیا شده بوده است. عدم قطعیت در تقاضای آینده آب در این تحقیق از طریق یک سری سناریوهای نماینده مورد توجه قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داده است که سناریوهای مختلف می‌تواند بر الگوهای توزیع آب، کمبود آب، سود خالص و هزینه‌های کل سیستم تاثیرگذار باشد. علاوه‌براین با استفاده از این مدل تقریبا تمام تقاضای آب در طول افق برنامه‌ریزی، از طریق اعطای معقول آب تضمین می‌گردد البته به غیر از سناریوی سطح تقاضای بالا، که در آن مقدار کمی از تقاضای آب در بخش‌های کشاورزی، شهری و محیط‌زیست تامین نشده است (Ji et al., 2017). خسروجردی و همکاران، از برنامه‌ریزی فازی تصادفی دو مرحله‌ای[12] با پارامترهای فاصله‌ای برای تخصیص بهینه منابع آب به کاربران مختلف تحت عدم اطمینان استفاده کرده‌اند. این مدل فاضلاب تصفیه شده را علاوه بر آب زیرزمینی، به عنوان یک منبع آب قابل تخصیص در نظر گرفته است. این مدل برای مطالعه موردی تخصیص منابع آب در یک زمینه چند منظوره و مخزن چندمنظوره در منطقه زرند کرمان اعمال شده است. نتایج نشان داده است که مدل این تحقیق قادر به ارائه راه حل‌های معقولی، به صورت فاصله زمانی و اطلاعات فازی تحت سناریوهای مختلف است که می‌تواند به مدیران در ارائه برنامه های تخصیص بهینه منابع آب کمک کند (Khosrojerdi et al., 2019).

تان و همکاران، با در نظر گرفتن مزایای اکولوژیکی، یک مدل تخصیص بهینه برای یک سیستم مدیریت منابع آب ارائه کرده است. تابع هدف این مطالعه، حداقل کمبود آب برای کاربران مختلف تعریف شده است. برای حل این مساله، ترکیبی از روش‌های تجزیه-هماهنگی [13]و دیفرانسیل پویا [14] استفاده شده است. مدل پیشنهادی شهرهای لینگوی، یونگفو و گویلین[15] در چین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که مقادیر تخصیص بهینه از مخزن نزدیک به مقادیر واقعی است (Tan et al., 2019).

بائوهوی و همکاران، برای تخصیص بهینه منابع آب از روش پیش بینی خاکستری برای پیش‌بینی عرضه و تقاضای آب استفاده کرده‌اند. اما با توجه به اینکه این روش، دقت کمی در پیش‌بینی دارد به خصوص در مواردی که داده‌های اصلی خیلی تغییرپذیر هستند لذا در این مقاله برای حل این مشکل از یک روش ابتکاری با استفاده از مدل میانگین متحرک و بهینه‌سازی مقادیر پس زمینه[16] استفاده شده است. سپس مدل چند هدفه پیشنهادی برای تخصیص بهینه منابع آب برای پکن در بازه زمانی برنامه‌ریزی کوتاه مدت (۲۰۲۰) به کار گرفته شده است. نتایج نشان داده است که تقاضای بخش‌های صنعت و کشاورزی به خوبی تأمین شده است، در حالی که تامین آب بخش-های شرب و زیست محیطی با کمبود مواجه شده است (Baohui et al., 2019). چن و همکاران، یک مدل تخصیص بهینه چندمنظوره برای منابع آب شهری پیشنهاد داده‌اند این مدل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) حل شده است. در این مقاله،

1- Double-sided fuzzy chance-constrained fractional programming
2- Zhangweinan
3- Handan and Anyang
4- Interval-parameter two-stage stochastic programming
5- Fuzzy chance-constrained programming
6- Inexact multistage stochastic chance constrained programming
7- Stochastic simulation
8- Back propagation neural network
9- Genetic algorithm
10- Tianjin
11- Inexact two-stage stochastic programming
12- Two-Stage Stochastic Programming
13- Decomposition-Coordination (DC)
14- Discrete Differential Dynamic
15- Lingui , Yongfu and Guilin
16- Background

تخصیص منابع آب منطقه کونمینگ[1] از کشور چین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که خروجی این مدل تخصیص می‌تواند نرخ بالقوه کمبود آب در آینده در منطقه مورد مطالعه را کاهش دهد. بنابراین، اختلافات بر سر استفاده از آب شهری می تواند به طور موثر کاهش یابد (Chen et al., 2020).

مسنن مظفری و همکاران تخصیص بهینه آب سد امیرکبیر را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش پس از پیش بینی آب رودخانه کرج به روش شبیه‌سازی مونت کارلو، از برنامه‌ریزی آرمانی وزنی و اولویت‌دار به منظور تخصیص آب سد کرج به بخش‌های شرب و کشاورزی استفاده شد. نتایج برنامه‌ریزی آرمانی اولویت‌دار نشان داد، با توجه به اهداف تصمیم‌گیرنده، می‌توان آب تخصیصی به شرب و درآمد ناخالص کشاورزان را افزایش داد (مسنن مظفری و همکاران، ۱۳۸۷). صبوحی صابونی و همکاران تخصیص آب سد طرق را با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای فازی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داده است که سود خالص بخش شهری نسبت به تغییرات تخصیص آب حساس‌تر است (صبوحی صابونی و همکاران، ۱۳۸۸). نادر و صبوحی صابونی تخصیص بهینه آب سد مهاباد را با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی موردتوجه قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که با توجه به اهداف تصمیم‌گیرنده و درنظر گرفتن ترتیب اولویت آرمان‌ها، می‌توان آب تخصیصی به بخش کشاورزی و شرب را افزایش داد (نادر و صبوحی صابونی، ۱۳۹۰). در یک مطالعه دیگر، با استفاده از برنامه‌ریزی فازی خاکستری به بررسی تخصیص منابع آب شهرستان یزد پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که برای تخصیص بهینه منابع آب، اولویت با حداکثرکردن سود سیستم و سپس سود زیست-محیطی (مربوط به منافع آبیاری فضای سبز) است (محسنی و شهرکی، ۱۳۹۴). تخصیص بهینه آب سد وشمگیر در یک پژوهش دیگر با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای توسط کلبعلی و دیگران (۱۳۹۶) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده است که در اثر تخصیص آب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای میزان تقاضای آب هدف بخش‌های آبزی‌پروری و زیست محیطی تأمین می‌شود و کمبود آبی برای این بخش‌ها تحت سناریوهای مورد مطالعه وجود ندارد (کلبعلی و دیگران،۱۳۹۶). اکبری فرد و همکاران، تخصیص بهینه منابع آب در سامانه دو مخزنی سدهای گلستان و وشمگیر واقع در حوضه آبخیز گرگان رود را در یک دوره ۵ ساله مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش از الگوریتم فراابتکاری چرخه‌ی آب[2] برای تخصیص آب به بخش‌های صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی استفاده شده است. تابع هدف در این مدل حداقل‌سازی کل کمبود در طول دوره تعریف شده است. نتایج حاصل از الگوریتم مورد بررسی با نتایج روش‌های شناخته شده‌ی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم گروه ذرات مقایسه شده است. نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد بالای الگوریتم چرخه‌ی آب در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های مورد بررسی در تخصیص بهینه سامانه مخازن بوده است (اکبری فرد و همکاران، ۱۳۹۷).

به‌طور کلی اکثر تحقیقات گذشته سودآوری تخصیص منابع آبی را به عنوان هدف در نظر گرفته بوده‌اند. منظور از این سودآوری در واقع سود بدست آمده توسط کاربران مختلف در ازای استفاده از منابع آبی تخصیص یافته به آن‌ها بوده است. این هدف در شرایط پرآبی می‌تواند بسیار کارساز باشد اما در مطالعه حاضر، به سبب آنکه کم‌آبی وجود دارد، واقع‌بینانه نیست. با توجه به مطالعه ادبیات موضوع شکاف موجود در تئوری عبارت است از درنظر گرفتن محدودیت برای تخصیص آب از منبع زیرزمینی که در مطالعات قبل در نظر گرفته نشده بود. لذا تفاوت مطالعه حاضر با مطالعات قبلی در لحاظ نمودن این مورد است. بنابراین مطالعه حاضر می‌تواند نقش موثری در پر کردن شکاف موجود داشته باشد.

مواد و روش‌ها

چنانچه یک سیستم مدیریت منابع آب در نظر گرفته شود که باید از منابع آبی مختلف شامل سطحی، زیرزمینی و تصفیه شده به سه بخش کشاورزی، شرب و صنعت بر اساس تقاضای آن‌ها و به صورت سالانه، آب تخصیص دهد. میزان تقاضای بخش‌ها برای آب در ابتدای سال آبی از طرف بخش‌ها به تخصیص‌دهنده اعلام می‌شود. از طرفی با توجه به خشکسالی‌های مکرر، منابع آب در دسترس، کاهش یافته ولی با توجه به رشد جمعیت، توسعه صنایع و کشاورزی، تقاضای آب افزایش یافته است. بنابراین برداشت غیر مجاز آب صورت می‌گیرد که آسیب‌های متعدد زیست‌محیطی به دنبال دارد. در این راستا در تحقیق حاضر یک مدل تخصیص ارائه شده است که در یک چارچوب یکپارچه، تعامل عوامل عرضه و تقاضا را با توجه به کیفیت آب و عوامل اقتصادی را در نظر گرفته است. یکی از اهداف تحقیق حاضر حداکثرسازی سود کاربران رقیب ناشی از دریافت آب است بدین صورت که اگر مقدار آب وعده داده شده در آینده در اختیار این کاربران قرار گیرد، آن گاه سود سیستم افزایش می‌یابد ولی اگر این مقدار آب به کاربران داده نشود، کمبود آب روی خواهد داد که این امر با در نظر گرفتن حداقل‌سازی کمبود آب در مدلسازی لحاظ شده است. از سوی دیگر هدف حداقل‌سازی تخصیص آب شور از منبع آب زیرزمینی در مدل در نظر گرفته است تا کیفیت متفاوت آب به لحاظ میزان شوری در تخصیص مورد توجه قرار گیرد. لذا کمینه‌سازی

1- Kunming
2- Water cycle algorithm

کمبود آب و حداقل‌سازی تخصیص آب شور از منبع زیرزمینی جزء اهدافی است که در جهت منافع ملی و محیطزیستی مدنظر است. در فرآیند تخصیص آب، محدودیت هایی وجود دارد که باید در مدلسازی اعمال شود از قبیل محدودیت میزان برداشت آب از منبع آب زیرزمینی. با توجه به آن که در جلسه پانزدهم شورای عالی آب مقرر شده است که به منظور تعادل بخشی و احیای منابع آب زیرزمینی، حداکثر ۷۵ درصد منابع آب زیرزمینی مصرف شود، لذا این امر در قالب محدودیت برداشت از منبع آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. از این طریق مدل اجازه برداشت بیش از ۷۵ درصد مقدار آب در دسترس در منبع زیرزمینی را نمی‌دهد و بدین ترتیب پایداری این منبع آبی حفظ می‌گردد. به این ترتیب هر گونه برداشتی بیش از ۰,۷۵ آب در دسترس را غیر مجاز تلقی می‌نماید. این محدودیت علاوه بر منافع ملی و زیست محیطی، خواسته شرکت آب منطقه‌ای را نیز در نظر می‌گیرد. با رعایت این حد پایداری کمی و کیفی منابع آب حفظ می‌شود (شاهدی و طالبی حسین آباد، ۱۳۹۲). اما وجود پارامترهای تصادفی، تصمیم‌گیری در مورد مساله حاضر را پیچیده می‌نماید. در این مساله، کل آب در دسترس در منابع آبی مختلف، پارامتری تصادفی است. مدل معرفی شده برای این مساله از نوع تصادفی دو مرحله‌ای است. در ادامه ابتدا اهداف و محدودیت‌های مساله و سپس مدل ریاضی مساله ارائه شده است.

توابع هدف مساله تحقیق

۱. حداکثرسازی سود کاربران مختلف
۲. حداقل‌سازی تخصیص آب شور از منبع زیرزمینی
۳. حداقل‌سازی کمبود آب

محدودیت‌های مساله تحقیق

۱. در هر بخش مقدار آب وعده داده شده از کل منابع آبی، باید بزرگتر مساوی مقدار تقاضای آن بخش باشد.
۲. در هر سناریو مقدار تخصیص از منبع آب زیرزمینی با رعایت استاندارد ۰,۷۵ صورت گیرد. به عبارت دیگر برداشت غیرمجاز از منبع آب زیرزمینی صورت نگیرد.
۳. در هر سناریو مقدار تخصیص از منابع آب سطحی و تصفیه شده کمتر مساوی مقدار آب در دسترس در آن منبع باشد.

پارامترهای مدل

برای برآورده کردن اهداف فوق الذکر مدل ریاضی تخصیص تصادفی دو مرحله‌ای به شرح زیر توسعه داده شده است. در ادامه ابتدا پارامترهای مورد استفاده در مدل در جدول ۱ ارائه شده است و سپس مدل ریاضی تشریح شده است.

جدول ۱- پارامترهای مدل ریاضی

پارامترها	نماد	اندیس مرتبط با مجموعه
مجموعه بخش‌های متقاضی آب (کشاورزی=۱، شرب=۲، صنعت=۳)	I	$i \epsilon I= \{1, ,...,n\}$
تعداد کل بخش‌های متقاضی آب	n	
مجموعه منابع آبی (سطحی=۱، زیرزمینی=۲، تصفیه شده =۳)	J	$j \epsilon J= \{1, ,...,m\}$
تعداد کل منابع آبی	m	
کل آب در دسترس منبع j ام در سناریوی s ام	Q_j^s	
سود بخش i ام به ازای هر یک واحد آب اضافی	Be_i	
مقدار آب مورد تقاضای بخش i ام	D_i	
میانگین غلظت شوری موجود در منابع آب زیرزمینی در سناریوی s ام	EC^s	
مجموعه سناریوها	S	$s \epsilon S = \{1, \dots, \varepsilon\}$
تعداد سناریوها	ε	
احتمال رخداد هر سناریو	p^s	

متغیرهای مدل

در این مدل متغیرهای تصمیم شامل:

x_{ij}: مقدار آب وعده داده شده به بخش i ام از منبع j ام و y^s : مقدارکمبود آب در سناریوی s ام است. لازم به ذکر است که این مدل دو مرحله‌ای است و x_{ij} متغیر تصمیم مرحله اول و y^s متغیر تصمیم مرحله دوم است. متغیرهای مورد استفاده در مدل پیشنهادی تحقیق حاضر در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار آب وعده داده شده در واقع تعهدی برای شرکت آب منطقه‌ای در جهت تامین آن ایجاد نمی‌کند به این معنی که ممکن است این مقدار آب، در واقع تخصیص داده نشود. تعدیل مربوط به این متغیر با متغیر کمبود صورت می‌گیرد.

جدول۲- متغیرهای تصمیم مدل

متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی	نماد
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب سطحی به بخش کشاورزی	x_{11}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب سطحی به بخش شرب	x_{21}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب سطحی به بخش صنعت	x_{31}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب زیرزمینی به بخش کشاورزی	x_{12}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب زیرزمینی به بخش شرب	x_{22}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب زیرزمینی به بخش صنعت	x_{32}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب تصفیه‌شده به بخش کشاورزی	x_{13}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب تصفیه‌شده به بخش شرب	x_{23}
مقدار آب وعده داده شده از منبع آب تصفیه‌شده به بخش صنعت	x_{33}
مقدار کمبود آب در هر سناریو	y^s

با این تعاریف، مدل ریاضی مساله به صورت زیر است:

$$f_1 = max \sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J} Be_i(x_{ij}) \quad (1a)$$

$$f_2 = min \sum_{s\epsilon S} p^s * EC^s * \sum_{i\epsilon I} x_{i2} \quad (1b)$$

$$f_3 = min \sum_{s\epsilon S} p^s * y^s \quad (1c)$$

s.to:

$$\sum_{i\epsilon I} x_{ij} \le Q_j^s \qquad \forall j = 1,3, \quad \forall s\epsilon S \quad (1d)$$

$$\sum_{j\epsilon J} x_{ij} \ge D_i \qquad \forall i\epsilon I \quad (1e)$$

$$y^s = \left[\sum_{i\epsilon I} x_{i2} - 0.75 * Q_2^s\right]^+ \qquad j = 2, \quad \forall s\epsilon S \quad (1g)$$

$$x_{ij}, y^s \ge 0 \qquad \forall i\epsilon I, \forall j\epsilon J, \quad \forall s\epsilon S \quad (1m)$$

روش حل

در تحقیق حاضر، روش دستیابی به آرمان[1] که توسط گمبیچی و هایمس[2] ارائه شده است، مورد استفاده قرار گرفته است. این روش مستلزم طراحی مجموعه آرمان‌هایی به صورت $F^* = [F_1^*, F_2^*, \dots, F_p^*]$ برای اهداف متعدد است. روش دستیابی به آرمان این امکان را فراهم می‌نماید که اهداف مساله در قالب "موفقیت‌هایی بیشتر یا کمتر" از اندازه تعیین شده در نظر گرفته شود. درجه نسبی "موفقیت بیشتر یا کمتر" توسط ضرایب بردار وزن $W_p = (w_1, w_2, \dots, w_k)$ به گونه‌ای که $\sum_{p=1}^{k}|W_p| = 1$ کنترل می‌گردد (Gembicki and Haimes., 1975). برتری این روش نسبت به برنامه‌ریزی آرمانی سرعت بیشتر محاسباتی و حجم کمتر آن است (مهرگان، ۱۳۹۲). این مدل به صورت زیر فرموله شده است و با نرم افزار متلب اجرا شده است:

$$\min D \quad (2a)$$

s.to:

$$g_i(x_j) \le b_i \qquad i = 1, \dots, m \quad (2b)$$

$$F_p(x_j) - W_p D \ge F_j^* \qquad j = 1, \dots, n \quad (2c)$$

$$x_j \ge 0 \quad (2d)$$

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز مشهد یکی از ۱۳ زیرحوضه قره‌قوم (کشف رود) می‌باشد. مساحت این حوضه ۹۹۰۹,۴ کیلومترمربع است. دشت مشهد یکی از مهمترین دشت‌های استان خراسان رضوی است. از مهمترین رودخانه‌های این دشت، می‌توان به رودخانه کشف‌رود اشاره نمود که شاخه‌های مهم آن رادکان، طرقبه، جاغرق، دهبار، زشک، گلستان و دولت‌آباد می‌باشد. منابع تامین آب زیرزمینی دشت شامل چشمه، قنات، چاه عمیق و نیمه عمیق است. آبخوان دشت مشهد در موقعیت طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳ دقیقه شمالی واقع شده است. دشت مشهد به عنوان مرکز عمده فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی استان، امروزه در وضعیت بسیار بحرانی قرار گرفته است. به‌طوری که نشست سطح زمین ناشی از افت سطح آب‌های زیرزمینی در بخشهایی از آن به طور محسوس مشاهده می‌گردد. از سال ۱۳۴۷ به دلیل افت سطح آب، این دشت جزء دشتهای ممنوعه اعلام گردیده است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸). این دشت در بردارنده سه شهرستان مشهد، چناران و طرقبه است که مطالعه حاضر به بررسی تخصیص آب در شهرستان مشهد پرداخته است.

داده‌های تحقیق

داده‌های مقدار آب مورد تقاضا، میانگین غلظت شوری موجود در

1- Goal Attainment method
2- Gembicki and Haimes

منابع آب زیرزمینی از شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی جمع-آوری شده است (سیمای آب استان، ۱۳۹۷). برای داده کل آب در دسترس علاوه بر استفاده از داده‌های سازمان آب مربوط به سال ۱۳۹۷، از ادبیات موضوع و نظرات خبرگان نیز استفاده شده است. با توجه به ابهام زیاد و قابلیت بسیار پایین پیش‌بینی‌پذیری مقدار پارامتر کل آب در دسترس، این تحقیق طبق نتایج حاصل از محاسبه شاخص خشکسالی، سه سناریو شامل خشکسالی، سال نرمال و ترسالی را مورد توجه قرار داده است. داده‌های مربوط به سود بخش‌های مختلف با استفاده از تابع تقاضای این بخش‌ها بدست آمده است این روش در مطالعه صبوحی صابونی و همکاران (۱۳۸۸) استفاده شده است. در مطالعه حاضر از توابع تقاضای برآورد شده توسط اشرفی و همکاران (Ashrafi et al., 2019) استفاده شده است. تابع تقاضای بخش شرب مشهد به صورت زیر برآورد شده است (Ashrafi et al., 2019):

$$p = 7340.274 - 0.01811q \quad (3)$$

تابع تقاضای آب به صورت تابعی با دو متغیر q و p ارائه می-گردد. در این رابطه q و p به ترتیب مقادیر مصرف و قیمت آب است و ۷۳۴۰,۲۷۴ عرض از مبدأ و ۰,۰۱۸۱۱ نیز شیب تابع تقاضای بخش شرب است. با استفاده از تابع تقاضا می‌توان مقدار تغییر رفاه مصرف کننده را با توجه به سطح زیر منحنی تقاضا محاسبه نمود. بدین‌منظور نخست مصرف سرانه‌ی سالانه ساکنان منطقه در جمعیت آن را ضرب نموده و به عنوان q در تابع فوق قرار داده شده است. برای به دست آوردن سود حاصل از یک واحد افزایش آب برای کاربران، بعد از افزایش یک واحدی در مصرف ماهانه هر فرد، دوباره مقدار q برآورد می‌گردد و سپس میزان تغییر در اضافه رفاه مصرف‌کننده نسبت به حالت عدم تغییر در q محاسبه شده است (صبوحی صابونی و همکاران، ۱۳۸۸). به این ترتیب سود ناشی از افزایش یک واحد آب بدست می‌آید. تابع تقاضای بخش کشاورزی مشهد نیز به صورت زیر برآورد شده است (Ashrafi et al., 2019):

$$p = 323.4521 - 0.09464q \quad (4)$$

جدول ۳- نتایج حاصل از شاخص خشکسالی

سناریوها	خشکسالی	سال نرمال	ترسالی
احتمال وقوع	۰,۱۷۸	۰,۶۵۵	۰,۱۶۷

مقدار تغییر رفاه مصرف‌کننده برای بخش کشاورزی نیز به همان روش بخش شرب اما با این تفاوت که در اینجا مقدار تغییر به ازای تغییر یک واحد برای هر ۱۰ هکتار زمین کشاورزی محاسبه شده است. از آنجا که در ایران محدودکننده‌ترین عامل کشاورزی، آب است؛ افزایش در اضافه رفاه مصرف‌کننده بیانگر سود بخش کشاورزی به ازای افزایش یک واحدی در میزان آب مصرفی است (صبوحی صابونی و همکاران، ۱۳۸۸). تابع تقاضای صنعت مشهد نیز به صورت زیر برآورد شده است (Ashrafi et al., 2019):

$$p = 21539.659 - 0.00298q \quad (5)$$

سود بخش صنعت نیز همانگونه که در بالا اشاره شد از طریق محاسبه افزایش در اضافه رفاه مصرف کننده بدست آمده است.

در تحقیق حاضر برای به دست آوردن احتمال وقوع سناریوهای خشکسالی، سال نرمال و ترسالی براساس داده‌های بارندگی ۴۰ سال گذشته در مشهد از شاخص خشکسالی[1] استفاده شده است. شاخص خشکسالی به صورت زیر محاسبه می‌گردد (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۴):

$$SPI = \frac{P_i - \overline{P}}{\delta} \quad (6)$$

در این رابطه SPI شاخص خشکسالی، P_i میانگین بارندگی هر سال، $\overline{P}$ میانگین بارندگی کل سال‌ها و δ انحراف معیار کل سال‌ها است. مقادیر بزرگتر از ۱+ این شاخص بیانگر ترسالی و کمتر از ۱- بیانگر خشکسالی و اعداد بین این دو مقدار بیانگر سال نرمال است.

نتایج و بحث

در این قسمت، نتایج تحقیق ارائه شده است. جدول ۳ نتایج حاصل از تحلیل شاخص خشکسالی را نشان داده است.

ابتدا شاخص خشکسالی براساس داده‌های بارندگی در بازه زمانی ٤٠ سال گذشته شهرستان مشهد محاسبه شده است و سپس احتمال وقوع خشکسالی، سال نرمال و ترسالی محاسبه شده است و در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج تحلیل شاخص خشکسالی در شهرستان مشهد بیانگر ۰,۱۷۸ درصد حالت خشکسالی، ۰,۶۵۵ درصد سال نرمال و ۰,۱۶۷ درصد ترسالی است. مقادیر بدست آمده از این تحلیل برای احتمال وقوع سناریوهای مختلف تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج حاصل از اجرای مدل با بردار وزن مدل $W_p = (w_1 = 0.25, w_2 = 0.5, w_3 = 0.25)$ در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است که این وزن‌ها در نتیجه مصاحبه با خبرگان تعیین شده است. لازم به ذکر است که خبرگان این تحقیق مشتمل بر ۷ نفر بوده است که ۳ نفر از ایشان واجد تخصص و تجربه در حوزه منابع آبی بوده‌اند.

1- Standardized Precipitation Index(SPI)

جدول٤- مقادیر بهینه آب وعده داده شده و کمبود آب

سناریوها	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{13}	x_{23}	x_{33}	y^s
ترسالی	۰	۱۵۰	۵۰	۴۷۲,۵	۰	۰	۴۰	۶۰	۰	۷۸,۷۵
سال نرمال	۱۰۰	۰	۰	۳۴۲,۵	۲۱۰	۵۰	۷۰	۰	۰	۳۵۸,۷۵
خشکسالی	۵۵	۰	۰	۴۱۰,۵	۲۱۰	۵۰	۴۷	۰	۰	۵۰۱,۷۵

توصیف متغیرها در جدول شماره ۲ آورده شده است.

به‌طور کلی با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴ در کلیه سناریوهای مورد بررسی در تحقیق حاضر کمبود آب وجود دارد. این نتیجه مشابه با یافته های ژنگ و همکاران (Zhang et al., 2017) است. نتایج ارائه شده در جدول ۴ بیانگر مقادیر مختلف کمبود در سناریوهای متفاوت است، که این نتیجه مشابه نتایج مطالعه جی و همکاران (Ji et al., 2017) است. علاوه‌براین، مقادیر بدست آمده از اجرای مدل پیشنهادی تحقیق حاضر نزدیک به مقادیر تخصیص واقعی است لذا مدل پیشنهادی تحقیق حاضر با شرایط واقعی سازگاری داشته و این امر مشابه یافته‌های تان و همکاران (Tan et al., 2019) نیز است. از سوی دیگر نتایج حاصل از مطالعات فان و همکاران (Fan et al., 2012) و نعمتیان (Nematian, 2016) نشان داده است که فقط در سناریوی ترسالی، هیچ گونه کمبود آبی وجود نداشته است و تقاضای بخش‌های مختلف به صورت کامل برآورده می‌شود اما در تحقیق حاضر نتایج بیانگر آن است که در کلیه سناریوهای مورد بررسی، کمبود آب وجود دارد. البته این امر منطقی است زیرا شرایط واقعی منطقه مورد مطالعه به لحاظ منابع آبی در دسترس و از سوی دیگر حجم تقاضا موجب آن شده است.

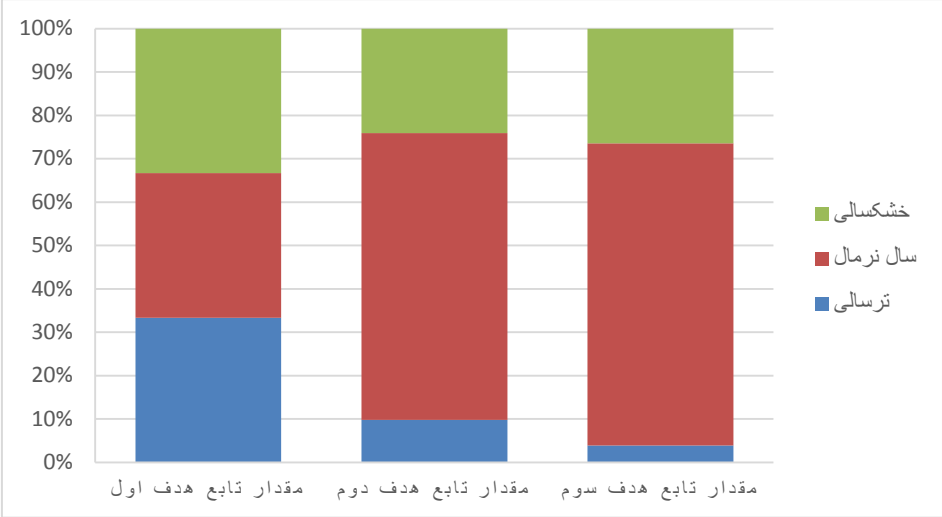
در سناریوی ترسالی، مقدار آب وعده داده شده از منبع آب سطحی به بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت به ترتیب معادل ۰، ۱۵۰ و ۵۰ میلیون مترمکعب است. مقدار آب وعده داده شده از منبع آب زیرزمینی به بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت به ترتیب معادل ۴۷۲,۵ ، ۰ و ۰ میلیون متر مکعب است و در همین سناریو بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت به ترتیب معادل ۴۰ ، ۶۰ و ۰ میلیون متر مکعب آب از منبع آب تصفیه‌شده دریافت می‌نمایند. در این سناریو کمترین مقدار کمبود آب معادل ۷۸,۷۵ MCM وجود دارد. این مقدار کمبود آب به دلیل محدود نمودن برداشت غیرمجاز از منبع آب زیرزمینی وجود دارد به عبارت دیگر مقدار تخصیص از منبع آب زیرزمینی در این سناریو معادل ۳۹۳,۷۵ MCM است با مقایسه این مقدار با مقدار کل آب وعده داده شده از منبع آب زیرزمینی به بخش‌های مختلف می‌توان بیان نمود که اگر شرکت آب منطقه‌ای بخواهد مقدار آب وعده داده شده را در عمل محقق نماید، یعنی همان مقادیر را تخصیص دهد، در این سناریو معادل ۷۸,۷۵ MCM برداشت غیر مجاز از منبع زیرزمینی صورت می‌گیرد. بنابراین بهتر است که شرکت آب منطقه‌ای در این سناریو به اندازه ۷۸,۷۵ MCM کمبود و عدم تحقق مقادیر وعده داده شده را در مورد بخش‌های مختلف اعمال نماید در این صورت شاخص پایداری منبع آب زیرزمینی معادل ۷۵٪ محقق خواهد شد. به عبارت دیگر حتی در این سناریو، منابع آبی در دسترس نمی‌تواند تقاضای بخش‌های مختلف را تامین کند؛ مگر آن که شاخص پایداری آب زیرزمینی حفظ نشود.

در سناریوی سال نرمال، مقدار آب وعده داده شده به بخش کشاورزی از منابع سطحی، زیرزمینی و تصفیه‌شده به ترتیب معادل ۱۰۰، ۳۴۲,۵ و ۷۰ میلیون متر مکعب است و مقدار آب وعده داده شده به بخش شرب از منابع سطحی، زیرزمینی و تصفیه شده به ترتیب معادل ۰، ۲۱۰ و ۰ میلیون مترمکعب است بخش صنعت نیز از همین منابع آبی به ترتیب ۰، ۵۰ و ۰ میلیون مترمکعب آب وعده داده شده دریافت می‌کند. اما در این سناریو مقدار کمبود کل بخش‌ها معادل ۳۵۸,۷۵ میلیون مترمکعب است. در این سناریو مقدار مجاز برداشت آب از منبع زیرزمینی معادل ۲۴۳,۷۵ MCM است و اگر شرکت آب منطقه‌ای بخواهد به تعهدات خود در برابر تامین تقاضای بخش‌های مختلف پایبند باشد و مقادیر آب وعده داده شده را تخصیص دهد معادل ۶۰۲,۵ MCM آب از منبع زیرزمینی برداشت و مصرف خواهد شد گرچه در این صورت بخش‌های مختلف تمام تقاضای خود را تامین می‌نمایند ولی این امر به معنی برداشت غیر مجاز از منبع آب زیرزمینی معادل ۳۵۸,۷۵ MCM است به عبارت دیگر برای حفظ شاخص پایداری آب زیرزمینی در سطح ۷۵٪ بایستی بخش‌های مختلف کمبود آب معادل ۳۵۸,۷۵ MCM را تجربه نمایند.

در سناریوی خشکسالی مقدار آب وعده داده شده از منبع آب سطحی به بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت به ترتیب معادل ۵۵، ۰ و ۰ میلیون متر مکعب است و مقدار آب وعده داده شده از منبع آب زیرزمینی به همین بخش‌ها به ترتیب معادل ۴۱۰,۵، ۲۱۰ و ۵۰ میلیون مترمکعب است و مقدار آب وعده داده شده از منبع آب تصفیه شده به همین بخش‌ها به ترتیب معادل ۴۷ ،۰ و ۰ میلیون مترمکعب است. بیشترین مقدار کمبود آب معادل ۵۰۱,۷۵ MCM در این سناریو وجود دارد. در این سناریو اگر شرکت آب منطقه‌ای بخواهد تقاضای بخش‌های مختلف را به صورت کامل برآورده نماید و آب

وعده داده شده را به طور کامل تخصیص دهد مقدار برداشت از منبع آب زیرزمینی معادل ۶۷۰٫۵ MCM خواهد بود در این صورت با در نظر گرفتن شاخص پایداری معادل ۷۵٪ مقدار برداشت غیر مجاز در این سناریو از منبع آب زیرمینی معادل ۵۰۱٫۷۵ MCM خواهد بود به عبارت دیگر برای حفظ شاخص پایداری در این سناریو مقدار برداشت مجاز آب از منبع آب زیرزمینی بایستی محدود به۱۶۸٫۷۵ MCM شود با انجام این کار بخش‌های مختلف با کمبودی معادل ۵۰۱٫۷۵ MCM روبه‌رو خواهند گردید. بنابراین در این صورت تقاضای بخش‌های مختلف تامین نخواهد شد. از آنجا که عوامل موثر بر عرضه آب تحت کنترل بشر نیست، برای تعدیل کمبود آب در این سناریو بایستی از راهکارهایی که در آن طرف تقاضا تحت تاثیر قرار می‌گیرد؛ استفاده شود. لذا فرهنگ‌سازی در جهت مدیریت مصرف در تمام بخش‌ها باید مورد توجه قرار گیرد علاوه بر این در بخش کشاورزی نیز از راهکارهایی مانند تغییر شیوه کشاورزی سنتی به مدرن و همچنین کاشت محصولاتی با نیاز آبی کمتر بهره گرفته شود تا تقاضای آب کاهش یابد و به این ترتیب کمبود آب تا اندازه‌ای تعدیل گردد.

در ادامه مقادیر توابع هدف در سه سناریوی مختلف در قالب شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- مقادیر توابع هدف در سناریوهای مختلف

همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است مقدار تابع هدف اول که بیانگر سود کاربران ناشی از آب وعده داده شده است در سه سناریوی مورد بررسی تحقیق حاضر با یکدیگر برابر است زیرا مدل در ارائه آب وعده داده شده در جهت تامین نیازهای کاربران مختلف اقدام می‌نماید. مطابق شکل شماره ۱، در مورد مقادیر حاصل از تابع هدف دوم که همان حداقل‌سازی تخصیص آب شور است، مقدار این تابع هدف در سناریوی سال نرمال در مقایسه با سناریوهای دیگر بزرگتر است و این امر منطقی است زیرا احتمال وقوع این سناریو (۰٫۶۵۵) از سایر سناریوها بسیار بزرگتر است.

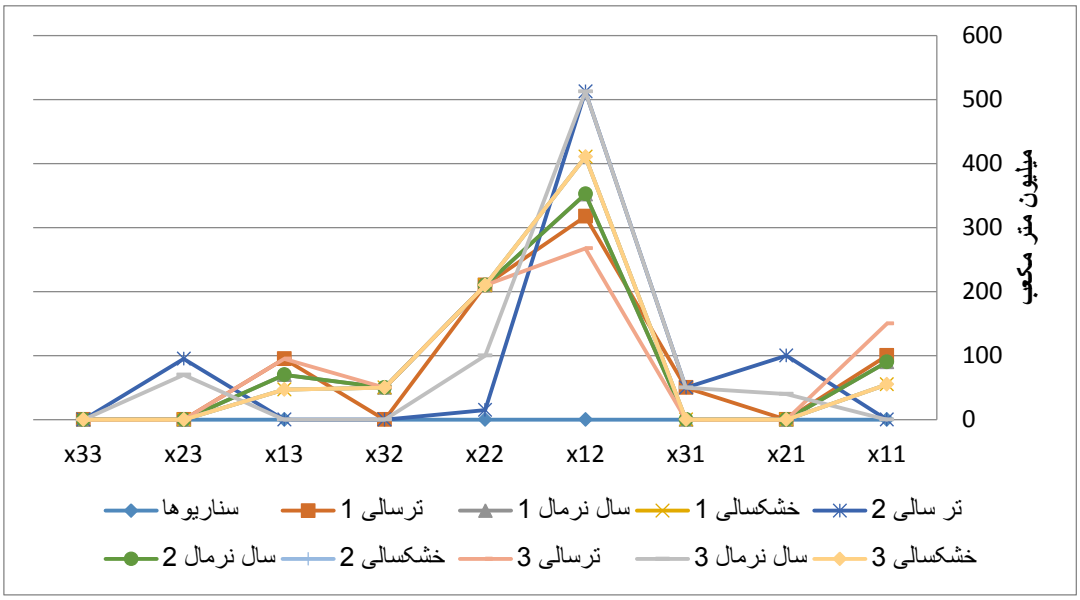
تحلیل حساسیت

در این قسمت تحلیل حساسیت مدل در دو فاز جدا اجرا شده است. در یک فاز وزن‌های متفاوت برای اهداف تحقیق در نظر گرفته شده است و در فاز دیگر، نتایج بهینه مدل با اعمال تغییرات در داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا نتایج مدل با بردارهای وزن مختلف برای اهداف مختلف در سناریوهای متفاوت بررسی شده است و مقادیر بهینه آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

در شکل ۲ نتایج مدل در سناریوهای خشکسالی، سال نرمال و ترسالی با ضرایب وزنی مختلف برای اهداف متفاوت نشان داده شده است. نمودارهای خشکسالی ۱ ، سال نرمال ۱ و ترسالی ۱ بیانگر نتایج بهینه مدل با اوزان مساوی برای اهداف مدل است. نمودارهای خشکسالی ۲، سال نرمال ۲ و ترسالی ۲ نیز نتایج بهینه حاصل از اجرای مدل با ضرایب $(w_1 = 0.075, w_2 = 0.85, w_3 = 0.075)$ است. نمودارهای خشکسالی۳ ، سال نرمال ۳ و ترسالی ۳ نیز نتایج مدل را با ضرایب وزنی را $(w_1 = 0.85, w_2 = 0.075, w_3 = 0.075)$ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۲ کاملا مشخص است با تغییر در وزن‌های توابع هدف الگوی تخصیص نیز متفاوت می گردد.

در ادامه بررسی حساسیت مدل، تغییرات مقادیر آب در دسترس و تقاضا مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به شرایط بحرانی حاکم بر

منطقه مورد مطالعه، در این جا فقط مقادیر آب در دسترس در منابع سطحی و تصفیه شده تغییر داده شده است زیرا افزایش این دو منبع با توجه به سناریوهای انتقال آب از دریا و یا اجرای دقیق و سریعتر طرح‌های فاضلاب شهری (اگو)، امکان‌پذیر است. تغییرات تقاضا نیز فقط در بخش کشاورزی اعمال شده است زیرا این بخش به طور کلی بیشترین میزان تقاضا و مصرف آب در ایران را دارد. نتایج این بررسی در سناریوهای مختلف و به ازای مقادیر متفاوت در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۲- نتایج بررسی تحلیل حساسیت مدل با اوزان مختلف. توصیف متغیرها در جدول شماره ۲ آورده شده است

جدول ۵- نتایج بررسی حساسیت مدل

سناریوها	داده‌های ورودی	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{13}	x_{23}	x_{33}	y^s
	$(q_1 = 300, q_3 = 200)$	۳۰۰	۰	۰	۱۲,۵	۲۱۰	۵۰	۲۰۰	۰	۰	۱۰۳,۷۵
خشکسالی	$(q_1 = 400, q_3 = 300)$	۳۰۸,۷۵	۴۱,۲۵	۵۰	۰	۱۶۸,۷۵	۰	۲۰۳,۷۵	۰	۰	۰
	$(D_1 = 412.5)$	۵۵	۰	۰	۳۱۰,۵	۲۱۰	۵۰	۴۷	۰	۰	۴۰۱,۷۵
	$(q_1 = 190, q_3 = 170)$	۱۹۰	۰	۰	۱۵۲,۵	۲۱۰	۵۰	۱۷۰	۰	۰	۱۶۸,۷۵
سال نرمال	$(q_1 = 290, q_3 = 270)$	۲۷۳,۷۵	۰	۱۶,۲۵	۰	۲۱۰	۳۳,۷۵	۲۳۸,۷۵	۰	۰	۰
	$(D_1 = 412.5)$	۹۰	۰	۰	۲۵۲,۵	۲۱۰	۵۰	۷۰	۰	۰	۲۵۸,۷۵
ترسالی	$(q_1 = 300, q_3 = 200)$	۴۰	۲۱۰	۵۰	۳۹۳,۷۵	۰	۰	۷۸	۰	۰	۰
	$(D_1 = 412.5)$	۰	۱۵۰	۵۰	۳۹۳,۷۵	۰	۰	۱۸,۷۵	۶۰	۰	۰

توصیف پارامترها و متغیرها در جداول شماره۱و۲ آورده شده است.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ در سناریوی خشکسالی، چنانچه مقدار آب در دسترس از دو منبع سطحی و تصفیه‌شده به ترتیب معادل ۳۰۰ و ۲۰۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شود در این صورت الگوی تخصیص با نتایج ارائه شده در جدو ل ۴ متفاوت می‌گردد. به این صورت که در اینجا منابع آبی سطحی و تصفیه شده نقش بیشتری در تامین تقاضای بخش‌های مختلف ایفا می‌نمایند این امر باعث می‌شود که مقدار کمبود آب که می‌تواند منجر به اضافه برداشت گردد معادل ۱۰۳,۷۵ میلیون مترمکعب بدست آید که نسبت به نتایج جدول ۴ با کاهش چشمگیری مواجهه است. در همین سناریو چنانچه با استفاده از فرهنگ‌سازی در راستای مصرف بهینه، بتوان فقط تقاضای بخش کشاورزی را به اندازه ۱۰۰ میلیون متر مکعب کاهش دهیم، مقدار کمبود منابع آبی در این سناریو معادل ۴۰۱,۷۵ میلیون مترمکعب خواهد شد که در مقایسه با نتایج جدول ۴ بیانگر کاهش ۱۰۰ میلیون مترمکعبی است.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ در سناریوی سال نرمال، چنانچه مقدار آب در دسترس منابع آبی سطحی و تصفیه‌شده را به ترتیب معادل ۱۹۰ و ۱۷۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شود در این صورت مقدار کمبود معادل ۱۶۸,۷۵ میلیون مترمکعب بدست می‌آید

که در مقایسه با نتایج جدول ۴ این امر کاهشی معادل ۱۹۰ میلیون متر مکعب را نشان می‌دهد. در همین سناریو چنانچه مقادیر منابع آبی در دسترس در منابع سطحی و تصفیه‌شده باز هم افزایش پیدا نماید و به ترتیب معادل ۲۹۰ و ۲۷۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شود، در این صورت مقدار کمبود صفر خواهد شد.

در سناریوی ترسالی به دلیل پایین بودن مقدار کمبود، با افزایش مختصر در مقدار منابع آبی در دسترس موجود در منابع آبی سطحی و تصفیه‌شده، مقدار کمبود معادل صفر می‌گردد. این امر در جدول ۵ نشان داده شده است. علاوه‌براین در این سناریو بدون افزایش در مقدار منابع آبی در دسترس، فقط با کاهش مقدار تقاضای بخش کشاورزی نیز به اندازه ۱۰۰ میلیون متر مکعب، می‌توان به کمبودی معادل صفر دست یافت که در این صورت تقاضای بخش‌ها به صورت کامل برآورده می‌شود.

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت تخصیص بهینه منبع حیاتی آب، در این مطالعه به توسعه مدل تخصیص منابع آب و حل این مساله با تاکید بر پیاده-سازی آن در مشهد پرداخته شده است. منابع آب شامل سطحی، زیرزمینی و تصفیه‌شده است که می‌بایست بین کاربران مختلف شامل کشاورزی، شرب و صنعت توزیع گردد. اهداف مدل تحقیق حاضر عبارتند از: حداکثرسازی سود بخش‌های مختلف ناشی از تخصیص آب توسط تخصیص‌دهنده، حداقل‌سازی تخصیص آب شور از منبع زیرزمینی و حداقل‌سازی کمبود آب. نکته مهم تحقیق حاضر در نظر گرفتن محدودیت برای برداشت غیرمجاز آب از منبع زیرزمینی که این محدودیت در مطالعات قبل در نظر گرفته نشده بود. علاوه‌براین، در تطابق با تعدادی از تحقیقات قبلی، مطالعه حاضر پارامتر میزان آب در دسترس را به صورت تصادفی در نظر گرفته است. احتمال وقوع سه سناریوی خشکسالی، سال نرمال و ترسالی براساس نتایج حاصل از یافته‌های شاخص خشکسالی تعیین شده است. مدل پیشنهادی تحقیق حاضر از نوع تصادفی دو مرحله‌ای بوده است که با استفاده از روش دستیابی به آرمان در شهرستان مشهد اجرا شده است. اکثر داده‌های مورد نیاز تحقیق به صورت میدانی و از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی جمع آوری شده است. علاوه‌براین تعدادی از داده‌های مورد نیاز تحقیق حاضر نیز از طریق مطالعه ادبیات موضوع و مصاحبه با خبرگان بدست آمده است. مدل تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار متلب اجرا شده است. مدیران و تصمیم‌گیران در حوزه تخصیص آب با در دست داشتن مقادیر پارامترهای مختلف به‌کاررفته در مدل پیشنهادی تحقیق حاضر به راحتی می‌توانند مقدار تخصیص آب از منابع مختلف به مقاصد متفاوت را تعیین نمایند. با کمی تعدیل و با در نظر گرفتن پارامترهای هر منطقه برای تمامی شرکت‌های آب منطقه-ای کشور قابل استفاده است. هم چنین با تعدیل مدل در تمامی سازمان‌هایی که با تخصیص منابع بین بخش‌های مختلف یا مشتریان مختلف سروکار دارند نیز می‌توان از این روش حل استفاده نمود.

نتایج حاصل از تحقیق بیانگر آن است که در تمام سناریوهای مورد بررسی با حذف برداشت غیرمجاز آب، کمبود آب وجود خواهد داشت. به عبارت دیگر حتی در سناریوی ترسالی، منابع آبی در دسترس نمی‌تواند تقاضای بخش های مختلف را تامین نماید. بنابراین بخش‌های مختلف، کمبود آب را تجربه می‌نمایند. میزان کمبود آب در سناریوی ترسالی معادل ۷۸٫۷۵ و در سنایوی سال نرمال معادل ۳۵۸٫۷۵ و در سناریوی خشکسالی معادل ۵۰۱٫۷۵ میلیون مترمکعب بدست آمده است. چنانچه شرکت آب منطقه‌ای متعهد به جبران این مقدار کمبود نباشد و از سوی دیگر بخش‌های مصرف‌کننده نیز ملزم به حذف برداشت غیرمجاز شوند در آن صورت شاخص پایداری برای مشهد معادل ۰٫۷۵ خواهد بود. براساس یافته‌های تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود که فرهنگ‌سازی در راستای مصرف بهینه منابع آبی دنبال گردد. در این فرهنگ‌سازی باید به دو بخش کشاورزی و شرب توجه ویژه شود زیرا حجم عمده‌ای از منابع آبی را این دو بخش مصرف می‌نمایند. برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های کلان در بخش کشاورزی جهت افزایش منفعت اقتصادی حاصل از آب تخصیص داده‌شده، باید به یک امر مهم تبدیل گردد و پیاده‌سازی کشاورزی مدرن و اصلاح شیوه‌های آبیاری فعلی به صورت جدی در دستور کار قرار گیرد. علاوه‌براین پیشنهاد می‌شود که این بخش به سمت کاشت محصولاتی با نیاز آبی کمتر که همزمان بازده اقتصادی مطلوبی دارد، حرکت نماید. اجرای مجموعه این پیشنهادات باعث می‌شود که در سناریوهای مختلف، شکاف بین عرضه منابع آبی و تقاضای بخش-های مختلف کمتر شود و مشکلات مربوط به کم‌آبی برطرف گردد. علاوه‌بر این پیشنهاد می‌شود که شرکت آب منطقه‌ای، از رویکرد آب وعده داده شده استفاده نماید.

منابع

اعلمی، م.ت.، آقابالایی، ب.، احمدی، م.ح. و فرزین، س. ۱۳۹۳. تخصیص بهینه نظام‌های منابع آب با استفاده از سامانه پویا. مهندسی منابع آب. ۷ (۲۳): ۱۱۰-۹۹.

اکبری، م.، جرگه، م. و مدنی سادات، ح. ۱۳۸۸. بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۶ (۴): ۷۸-۶۳.

اکبری فرد، س.، قادری،ک. و بختیاری، ب. ۱۳۹۷. تخصیص بهینه منابع آب با استفاده از الگوریتم چرخه آب (مطالعه موردی: حوضه

آبریز گرگان رود). فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی منابع آب. ۱۱ (۳۶): ۴۶-۳۳.

باقری هارونی، م. ح. و مرید، س. ۱۳۹۲. مقایسه مدل‌های WEAP و MAKE BASIN در تخصیص منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه تالوار). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۰ (۱):۱۶۷-۱۵۱.

ببران، ص. و هنربخش، ن. ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در جهان و ایران. فصلنامه راهبرد. ۴۸ (۱۶): ۲۱۲-۱۹۳.

بروغنی، م.، مرادی، ح. ر. و زنگنه اسدی، م.ع. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی و تعیین بهترین شاخص خشکسالی در استان خراسان رضوی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۵ (۱۹): ۸۴-۷۰.

پرهیزکاری، ا. و بدیع برزین، ح. ۱۳۹۶. تعیین ارزش اقتصادی آب و شبیه‌سازی رفتار کشاورزان منطقه تاکستان در کاهش منابع آب کشاورزی. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب). ۳۱(۱): ۱۱۸-۱۰۵.

سیمای آب استان. ۱۳۹۷. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی: ۲۹-۲۱. قابل بازیابی از: http://www.khrw.ir/uploaded_files/DCMS/wysiwyg/files/SIMABO97_06_01.pdf.

شاهدی، م. و طالبی حسین آباد، ف. ۱۳۹۲. ارائه چند شاخص کاربردی به‌منظور بررسی تعادل منابع آب و پایداری توسعه. نشریه آب و توسعه پایدار. ۱(۱): ۷۹-۷۳.

عبدلی، ق. و مهاجر شجاعی، ت. ۱۳۹۸. نظریه‌بازی و کاربرد آن در تخصیص بهینه منابع آب. پژوهش‌های برنامه و توسعه. ۱ (۳): ۱۶۶-۱۲۳.

علیزاده، ا. ۱۳۹۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ ۴۱. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد. ایران.

عیسی زاده، م. و دین‌پژوه، ی. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی زمانی-مکانی اقلیم بارش ایران و انتخاب ایستگاه‌های شاخص با روش‌های آماری چندمتغیره. نشریه آب و خاک. ۲۸ (۳): ۱۸۱-۱۶۹.

صبوحی صابونی، م.، رستگاری پور، ف. و کیخا، ا.ع. ۱۳۸۸. تخصیص بهینه آب سد طرق بین مصارف شهری و کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای فازی با پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم حتمیت. اقتصاد کشاورزی (اقتصاد و کشاورزی). ۳ (۱): ۵۵-۳۳.

طالبی حسین آباد، ف.، شاهدی، م.، ولایتی، س. و داوری،ک. ۱۳۹۳. برآورد آب تجدیدپذیر به کمک مدل بیلان آب در شرایط کمبود داده. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ۲۲: ۱۵۲-۱۲۹.

کلبعلی، ا.، صبوحی صابونی، م. و احمد پور برازجانی، م. ۱۳۹۶. راهبردهای تخصیص بهینه آب سد وشمگیر با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله ای. نشریه آب و خاک. ۳۰ (۶): ۱۸۴۷-۱۸۳۲.

محسنی، س. و شهرکی، ج. ۱۳۹۴. کاربرد برنامه‌ریزی فازی خاکستری در تخصیص منابع آب شهرستان یزد. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۷ (۳): ۹۰-۷۳.

مسنن مظفری، م.، صبوحی، م. و کیخا، ا.ع. ۱۳۸۷. مدل حمایت تصمیم‌گیری به‌منظور تخصیص بهینه آب سد امیرکبیر برای مصارف گوناگون. اقتصاد کشاورزی (اقتصاد و کشاورزی). ۲ (۴):۱۷۶-۱۵۷.

محمد جانی، ا. و یزدانیان، ن. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند. ۲۱ (۶۵و۶۶): ۱۴۴-۱۱۷.

مهرگان، م. ر. ۱۳۹۲. مدل های تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه. چاپ اول. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

نادر، ه. و صبوحی صابونی، م. ۱۳۹۰. مدیریت تخصیص آب سد مهاباد با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۳ (۱۱): ۱۶-۱.

Ashrafi, M., Hoshmand, M., Lotfalipour, M. R. and Davary, K. 2019. Estimation of water demand function in agricultural, urban and industrial sectors in Mashhad Plain. Modern Applied Science. 13 (4): 1-11.

Baohui, M., Zhijian, W., Huanlong, L., Zehua, H. and Yangsong, L. 2019. Improved grey prediction method for optimal allocation of water resources: a case study in Beijing in China. Water Supply. 19 (4): 1044–1054.

Chen, F., Huang, G. and Fan, Y. 2015. Inexact multistage fuzzy-stochastic programming model for water resources management. Journal of Water Resources Planning and Management. 141(11): 04015027. http://dx.doi.org/doi. 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000547.

Chen, J., Yu, C., Cai, M., Wang, H. and Zhou, P. 2020. Multi-Objective Optimal Allocation of Urban Water Resources While Considering Conflict Resolution Based on the PSO Algorithm: A Case Study of Kunming, China. Sustainability. 12 (1337): 1-16.

Cui, L., Li, Y. and Huang, G. 2016. Double-sided fuzzy chance-constrained linear fractional programming approach for water resources management. Engineering Optimization. 48(6): 949-965.

violation analysis method for planning water resources management systems with uncertain information. Information Sciences. 179(24): 4261-4276.

Li, X., Wang, X., Guo, H. and Ma, W. 2020. Multi-Water Resources Optimal Allocation Based on Multi-Objective Uncertain Chance-Constrained Programming Model. Water Resource Manage. 34: 4881–4899. https://doi.org/10.1007/s11269-020-02697-z

Madani, K., AghaKouchak, A. and Mirchi, A. 2016. Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. Iranian studies. 49(6): 997-1016.

Maqsood, I., Huang, G. H. and Yeomans, J. S. 2005. An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty. European Journal of Operational Research. 167(1): 208-225.

Nematian, J. 2016. An Extended Two-stage Stochastic Programming Approach for Water Resources Management under Uncertainty. Journal of Environmental Informatics. 27(2):72-84.

Tan, Y., Dong, Z., Xiong, C., Zhong, Z. and Hou, L. 2019. An Optimal Allocation Model for Large Complex Water Resources System Considering Water supply and Ecological Needs. Water. 11 (4): 843-852.

Xu, J., Tu, Y. and Zeng, Z. 2012. Bilevel optimization of regional water resources allocation problem under fuzzy random environment. Journal of Water Resources Planning and Management.139 (3): 246-264.

Zhang, H., Ha, M., Zhao, H. and Song, J. 2017. Inexact Multistage Stochastic Chance Constrained Programming Model for Water Resources Management under Uncertainties. Scientific Programming 2017. http://dx.doi.org/doi.10.1155/2017/1680813.

Fan, Y., Huang, G., Guo, P. and Yang, A. 2012. Inexact two-stage stochastic partial programming: application to water resources management under uncertainty. Stochastic environmental research and risk assessment. 26(2): 281-29.

Gembicki, F. and Haimes, Y. 1975. Approach to performance and sensitivity multiobjective optimization: The goal attainment method. IEEE Transactions on Automatic control. 20(6): 769-771.

Guo, P., Huang, G. H., Zhu, H. and Wang, X. 2010. A two-stage programming approach for water resources management under randomness and fuzziness. Environmental Modelling & Software. 25(12): 1573-1586.

Huang, G. and Loucks D. P. 2000. An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Civil Engineering Systems. 17(2): 95-118.

Ji, L., Sun, P., Ma, Q., Jiang, N., Huang, G.-H., and Xie, Y. L. 2017. Inexact Two-Stage stochastic programming for water resources allocation under considering demand uncertainties and response—A case study of Tianjin, China. Water 9(6): 414. http://dx.doi.org/doi. 10.3390/w9060414.

Khosrojerdi, T., Moosavirad, S.H., Ariafar, S. and Ghaeini-Hessaroeyeh, M. 2019. Optimal Allocation of Water Resources Using a Two-Stage Stochastic Programming Method with Interval and Fuzzy Parameters. Natural Resources Research. 28(3): 1107–1124.

Li, Y., Huang, G. and Nie, S. 2006. An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Advances in Water Resources. 29(5): 776-789.

Li, Y. P. and Huang G. H. 2008. Interval-parameter two-stage stochastic nonlinear programming for water resources management under uncertainty. Water resources management. 22(6): 681-698.

Li, Y. and Huang G. H. 2009. Fuzzy-stochastic-based

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 388-401

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۴۰۱-۳۸۸

Optimal Allocation of Water Resources in Critical Conditions under the Uncertainty of Parameters with Emphasis on Maintaining the Stability of Water Resources by the Goal Attainment Method (Case Study: Mashhad)

F. Dadmand[1], Z. Naji-Azimi[2*], N. Motahari Farimani[3], K. Davary[4]
Recived: Dec.05, 2020 Accepted: Feb.26, 2021

Abstract

Iran's water situation has reached a critical level due to frequent droughts and over-abstraction of water resources. Therefore, dealing with the optimal allocation of water resources in these conditions is an important and vital issue. In the present study, the model of water resources allocation in critical conditions has been developed and the proposed model has been implemented in Mashhad. The innovation of the proposed model of the present study is to consider the sustainability of water resources and simultaneously pay attention to the quantity and quality of water resources. In this study, considering the stochastic value of available water parameter, two-stage stochastic allocation model is presented and solved by the method of Goal Attainment, and implemented in MATLAB software. This model has been developed with the aim of maximizing the profits of different users, minimizing the allocation of saline water from the underground source and minimizing the shortage of water. The results of the study indicate that even in the wet scenario, available water resources cannot meet the demand of different sectors. If the stability index is maintained at 75%, the amount of water shortage in the drought scenario is equivalent to 501.75 MCM, in the normal scenario is equal to 358.75 MCM, and the in the wet scenario is equal to 78.75 MCM. In addition, the sensitivity analysis of the model with different data indicates that if in the drought scenario, the amount of available water from both surface and treated water sources is equivalent to 300 and 200 MCM, respectively, then the optimal allocation pattern has changed and the amount of water shortage that can lead to overdraft is 103.75 MCM.In this study, considering the amount of water available parameter random, random allocation model proposed two-stage.

Keywords: Allocation of water Resources, Goal attainment method, Stochastic parameter, Water crisis

1- Department of Management, Payame Noor University (PNU), Tehran,Iran and Graduated Ph.D, Department of Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor, Department of Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Professor, Department of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: znajiazimi@um.ac.ir)